

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geograafias

12 EAP

**Sokkia GSR 2700ISX vertikaalsed ja horisontaalsed
mõõtmishälbed valitud maastikutingimustes**

Andris Pentjärv

Juhendaja: PhD Raivo Aunap

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2016

Sokkia GSR 2700ISX vertikaalsed ja horisontaalsed mõõtmishälbed valitud maastikutingimustes.

Käesolevas töös uuritakse RTK seadme Sokkia GSR 2700ISX kasutamisel tekkivaid hälbeid mõõdistustulemustes erineva maastikulise konfiguratsiooni korral. Töö eesmärk on hinnata seadme toimimist veekogu vahetus läheduses, betoonehitise juuresolekul ning avamaastikul, oskamaks ennustada seadme käitumist hilisemas praktilises töös. Töö tulemusena selgus, et vastupidiselt esialgsele ennustusele ei kujunenud kõige suuremad hälbed välja mitte veekogu vahetus läheduses, vaid avamaastiku punktis, mille põhjused jäid esialgu selgusetuks.

CERCS:

P510 Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

P515 Geodeesia

Märksõnad: GNSS, RTK, mitmeteelisus, GPS

Deviations of surveying results in vertical and horizontal components using Sokkia GSR 2700ISX in selected landscape configurations.

The aim of this paper is to find out how different landscape configurations (body of water, tall buildings) may affect the results of survey. The main reason was to find out if any of given configurations may be the source of problems in future field work. The results of the studies show that the predicted problematic point near body of water turned out to show good results, while the point with no significant external factors turned out to be the most problematic.

CERCS:

P510 Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

P515 Geodesy

Keywords: GNSS, RTK, Multipath, GPS

Sisukord

Sissejuhatus	5
1. RTK süsteemi tööpõhimõte ja täpsus.....	7
1.1. RTK süsteemi ülesehitus	7
1.1.1. NRTK võrgud Eestis	9
1.2. RTK täpsus ja põhilised veaallikad	9
1.2.1. Mitmeteelisus	10
1.2.2. Varjestus.....	10
1.2.3. Baasjoone pikkus.....	11
1.2.4. Satelliitide asend	11
2. Andmed ja metoodika	12
2.1. Mõõdistusvõrk.....	12
2.1.1. Baasjaam	12
2.1.2. Betoonehitise punkt.....	14
2.1.3. Veepinna punkt (karjäär).....	14
2.1.4. Avamaastiku punkt.....	15
2.2. Kasutatud mõõdistusrežiimid ja andmete töötlus.....	17
2.3. Aparatuur	18
2.4. Mõõdistustööde ettevalmistamine ja probleemid	19
2.4.1. Ettevalmistustööd	19
2.4.2. Uus püsivara	19
2.5. Mõõdistused.....	20
2.5.1. Esimene talvine mõõdistus	20
2.5.2. Teine talvine mõõdistus	21
2.5.3. Esimene kevadine mõõdistus	21
2.5.4. Teine kevadine mõõdistus	22
3. Tulemused.....	24
3.1. Tulemused punktide kaupa.....	24
3.1.1. Punkt nr 1	24
3.1.2. Punkt nr 2	25
3.1.3. Punkt nr 3	26
3.2. Mõõdistuspunktide võrdlev vertikaalne muutlikkus	28
3.2.1. 12. veebruar 2016.....	28
3.2.2. 17. veebruar 2016.....	29

3.2.3.	11. aprill 2016	30
3.2.4.	22. aprill 2016	31
3.3.	Mõõdistuspunktide võrdlev horisontaalne muutlikkus.....	33
3.3.1.	12. veebruar 2016.....	33
3.3.2.	17. veebruar 2016.....	34
3.3.3.	11. aprill 2016	35
3.3.4.	22. aprill 2016	36
4.	Arutelu	37
4.1.	Vetevälja peegelduse eeldatav mõju.....	37
4.2.	Probleemid punktis number 3	38
4.3.	Betoonehitise mõju	40
5.	Järeldused.....	42
	Kokkuvõte	43
	Summary	45
	Kasutatud allikad.....	47
	Lisad	49
	Lisa 1	50
	Tehnilised andmed	50
	Lisa 2	51

Sissejuhatus

RTK (*Real Time Kinematic*) on satelliitnavigatsioonis põhinev kompleksisüsteem, mis koosneb liikuvast vastuvõtjast (*rover*) ja ruumiliselt lähedal asuvast baasjaamast, mis vahetab liikuva vastuvõtjaga reaajas parandeid, tänu millele on võimalik saavutada heades tingimustes kuni mõne sentimeetri tasemel täpsus mõne sekundi jooksul (Carnague 2013).

Geodeesias on RTK enim kasutatav meetod, leides kasutust eelkõige topograafilisel mõõdistamisel avatud horisondiga aladel, põllumajanduses põllutöömashinate isehuhtimissüsteemide ja täpset doseerimist nõudvate seadmete juhtimisel, ehitusel eelkõige planeerimise ja ehitusgeodeetiliste tööde puhul. Kasutuses on see aastast 1993, mil valmisid vajalikud riist- ja tarkvaralised lahendused (Rüdja, Sander 2013).

RTK on laialt levinud eelkõige oma suhtelise mobiilsuse ja lihtsa kasutatavuse tõttu. Olenemata asjaolust, et tegu on keeruka ning ka võrdlemisi täpse tehnoloogiaga, on mitmeid tegureid, mis mõõdistamise täpsusele olulist mõju avaldavad, millest tulenevalt on keerukates tingimustes sageli mõistlikum kasutada tahhümeetrilist mõõdistust. Tahhümeetrilise mõõdistamise puuduseks RTK ees on aga otsenähtavuse nõue tahhümeetri ja prisma vahel, mis võib maastikust tulenevalt tähendada ühe maa-ala mõõdistamise jooksul korduvat tahhümeetri ülesseadmist. RTK-mõõdistamise puhul aga piisab üldjuhul baasjaama ühekordsest ülesseadmisest ja sellele võib järgneda tundidepikkune katkestusteta mõõtmine baasjaamast mitmete kilomeetrite raadiuses. Võrgupõhise RTK (NRTK) puhul ei ole vaja ka eraldi baasjaama seadistamist, mis tähendab aja täiendavat kokkuhoidu.

Ideaaltingimustes on RTK-süsteemi täpsus horisontaalselt 1 cm + 2ppm, ning vertikaalselt 2 cm + 2 ppm (Rüdja, Sander 2013), kuid see eeldab signaali head kvaliteeti ja vähe segavaid faktoreid. Kuna praktilises töös on peamiselt vertikaalse täpsusega probleeme esinenud eelkõige veekogude ja horisonti varjavate tegurite juuresolekul, on antud töös asetatud rõhk RTK seadme uurimisele nende tegurite mõjuväljas.

Käesolevas töös uuritakse RTK (*Real Time Kinematic*) GPS seadmega Sokkia GSR 2700ISX signaale peegeldava teguri läheduses läbi viidud mõõdistustööde tulemusi ning võrreldakse neid varjatud horisondi tingimustes ja avamaastikul läbi viidud mõõdistustööde tulemustega.

Töö ajendiks sai Tartu Ülikooli geoloogia osakonna vanemteaduri Argo Jõehelehe tähelepanek, et geoloogia osakonna võrgupõhine RTK seade TopCon Hiper V, mis kasutab Eestis

kasutusel olevat Hades VRS võrku, näitab veepiiril reaalses kõrguskoordinaadi kõikumist ligi 10, kohati ka kuni 20 cm.

Seade Sokkia GSR 2700ISX on uuritavaks seetõttu, et tegu on Tartu Ülikooli geograafia osakonna peamise töö- ja õppevahendiga satelliitnavigatsioonil põhinevate mõõteseadmete osas. Sellest tulenevalt on võimalik hilisema praktilise töö käigus ennustada ja vältida võimalikke ootamatusi või vigu, mis võivad esineda teatud maastikulise konfiguratsiooni puhul või võimalike häireallikate läheduses mõõdistades. Kuigi seadmed ja parandite saamine ei ole analoogsed, on soov kontrollida, kas sarnased kõikumised esinevad ka uuritava aparraadi mõõdistustulemuste osas, lisaks ei ole geograafia osakonnas varem läbi viidud antud seadme täpsuse kontrolli, millest tulenevalt tekitas Argo Jõeale tähelepanek soovi testida ka geograafia osakonna seadet.

Sellest tulenevalt kujunes käesoleva töö hüpoteesiks väide, et RTK seadme Sokkia GSR 2700ISX vertikaalsed ja horisontaalsed hälbed sõltuvad selle vahetus läheduses asuvatest võimalikest signaale moonutavatest teguritest (veepind, betoonehitised). Antud väite kontrollimiseks kasutati andmeid, mis koguti ajavahemikul 12. veebruar 2016 kuni 22. aprill 2016 läbi viidud välitööde käigus, kokku neljal mõõdistuskorral. Iga mõõdistuskord võttis keskmiselt aega ligi kolm tundi ning selle aja jooksul koguti andmeid kolmes erinevas mõõdistuspaigas.

Käesoleva töö uurimisküsimused on:

1. Millisel määral esinevad mõõdistustulemustes hälbed vertikaalses komponendis seadme Sokkia GSR 2700ISX puhul.
2. Kas mõõtmistulemused on erinevad juhul, kui esineb võimalik signaalide peegeldumist põhjustav tegur (veepind), horisonti varjestav tegur (betoonehitis) või puuduvad silmnähtavad eritingimused.

1. RTK süsteemi tööpõhimõte ja täpsus

1.1. RTK süsteemi ülesehitus

Harilikult RTK süsteemi puhul koosnevad nii baasjaam kui liikuvjaam ühe- või kaheageduslikust GPS (või analoogsest) vastuvõtjast, sellega seotud antennist ja informatsiooni edastavast raadiosüsteemist/GSM seadmest. RTK-tehnoloogia kuulub jaotuslikult GNSS (*Global Navigation Satellite System*) ehk globaalsel satelliitnavigatsioonil põhinevate tehnoloogiate hulka. Kuna lisaks satelliitidele on kasutusel ka maapealselt baasjaamalt saadavad parandid, on tegu nn DGNSS (*Differential GNSS*) tüüpi tehnoloogiaga.

Atmosfääri, satelliidi orbiidi ja satelliidi kellaaja vead on ruumiliselt ja ajaliselt korrelatsioonis, mis tähendab, et kaks lähestikku asetsevat vastuvõtjat, mis jälgivad samu signaale, registreerivad ära ka samad vead. Võrreldes mõõdistusi kahe lähestikku asetseva sünkroniseeritud vastuvõtja kontekstis, on võimalik vead taandada. Vältimaks täiendavate segavate faktorite lisandumist on vajalik, et kaks vastuvõtjat ei oleks teineteisest enam kui kümne kilomeetri kaugusel. RTK puhul viiakse läbi mõõdistamisi samaaegselt kahe jaamaga, millest ühe koordinaadid on fikseeritud ning lähtuvat sellest on ruumilised vead välistatud. Sellest hoolimata on mõõdistustulemused alati seotud baasjaama andmetega, ehk baasjaama vale seadistus tekitab hälbe ka tegelikes mõõtmistulemustes (Carnague 2013).

Lihtsustatud kujul RTK arvutuste võrrand on järgmine:

$$\Phi = \rho - \delta S_{[ION]} + \delta S_{[TROP]} + c (\delta S_{[KELL]} - \delta S_{[KELL]}^S) + N\lambda + \varepsilon_\phi$$

kus

ρ - satelliidi ja vastuvõtja vaheline geomeetriline kaugus

$\delta S_{[ION]}$ - ionosfääri refraktsioon (faasi ette nihkumine, sellest ka märk)

$\delta S_{[TROP]}$ - signaali hiline mine troposfääris

c - valguse kiirus vaakumis

$\delta S_{[KELL]}$ - vastuvõtja kellaviga

$\delta S_{[KELL]}^S$ - satelliidi kellaviga

N - alg tundmatu ehk täisarv kandevlaine pikkusi

λ - kandevlaine lainepikkus

$\Phi\varepsilon$ - müra sh signaalide mitmeteelisuse jm mõjud

(Rüdja, Sander 2013)

Harilikult kasutatakse nii baasjaama kui liikuvjaamana identseid GPS seadmeid ja nendega ühendatud raadioid/GSM seadmeid ning baasjaam kasutab raadiot peamiselt informatsiooni edastamiseks, liikuvjaam vastuvõtmiseks (Langley 1998). Mitmetel RTK seadmetel on GPS vastuvõtja ja informatsiooni edastamiseks mõeldud tehnoloogia ühes korpuses ning lisaks GPS vastuvõtjale evitakse sageli lisaks GPS vastuvõtjale ka GLONASS, GALILEO, BeiDou vms vastuvõtjat, tagamaks rohkemate satelliitide kasutatavus.

Ülemaailmselt enim kasutust leidnud GPS on üles ehitatud nii, et igal ajahetkel on igas maailma paigas näha vähemalt 4 satelliiti (Hoffmann-Wellenhof *et al* 2012). Mida suurem on üheaegselt „nähtavate“ satelliitide arv, seda kiiremini toimub algtundmatute lahendamine ja RTK lukustuse saavutamine. Mida rohkem satelliite on nähtaval, seda tõenäolisem on seadet opereerival programmil vigaste arvutuste tuvastamine ja parandamine ning on ka katseliselt kindlaks tehtud, et suurem nähtavate satelliitide arv kiirendab tunduvalt ka RTK süsteemi puhul lukustuse saavutamise kiirust (Lemmons, Gerden 1999).

Kui liikuvjaamal on lisaks GPS vastuvõtjale ka GLONASS võimekus, on vajalik lisaks neljale GPS satelliidile ka vähemalt ühe GLONASS satelliidi nähtavus, et arvutada välja erinevused GPS ja GLONASS süsteemi kellaaegade vahel. GLONASS võimekuse lisamine tähendab, et seadmel on ülemaailmselt kasutada enam kui 48 satelliiti, mis tähendab suuremat täpsust eelkõige linnakeskkonnas ja piiratud nähtavusega kohtades, kuna avatud taeva osas on rohkem satelliite (Pirti *et al* 2009). Ka töös käsitletav Sokkia GSR 2700ISX evib GLONASS võimekust (lisa 1).

Praegusel ajal on käsitsi ülesseatavat baasjaama kasutavate RTK seadmete populaarsus kahanemas, ning kasutusmugavusest lähtuvalt on eelistatud uuemad NRTK (*Network RTK*) seadmed. NRTK seadmed on andmesidega ühenduses mitme statsionaarselt võrgustikus paikneva RTK püsijaamaga, mille andmete põhjal interpoleeritakse automaatselt vastavalt liikuvjaama asukohale virtuaalne baasjaam (VRS – *Virtual Reference Station*). On selge, et kasutusmugavuselt jäävad ühte baasjaama kasutavad RTK seadmed tunduvalt alla NRTK teenust kasutavatele seadmetele, mis ühenduvad korraga mitme RTK püsijaamaga ilma, et oleks vajadus neid ise üles seada (Aponte *et al* 2009), kuid kuna käesoleva töö koostajal ei ole

võrdlusmaterjalina kasutada NRTK võimekusega sarnaste tehniliste näitajatega RTK süsteemi, ei saa töö tulemusi üldistada üks-ühele mõlema süsteemi jaoks.

1.1.1. NRTK võrgud Eestis

Eestis on kasutusel kaks üleriigilist VRS (*Virtual Reference Station* – virtuaalne baasjaam) võrku – Trimble VRS Now, mida Eestis haldab Geosoft OÜ, ja TopCon, mida haldab Hades-Invest OÜ. TopCon VRS võrk koosneb 25 püsijaamast Eestis ning lisaks kolmest püsijaamast Lätis, Trimble VRS Now võrku kuulub 19 püsijaama (Svežova 2014).

Lisaks haldab püsijaamade võrku ka Maa-amet, kuid kuna Maa-ameti võrk ei toimi VRS võrguna, saab parandeid korraga vaid üksikutelt baasjaamadelt. Maa-ameti haldusalasse kuulub 27 püsijaama (Maa-amet 2015).

Tartus oli statsionaarne baasjaam ka Eesti Maaülikoolil, mis asus Metsandus- ja maaehitusinstituudi katusel, samuti Regiol ja Tartu Ülikooli geograafia osakonnal. Ei ole välistatud, et oma tarbeks on Tartus üles seatud ka teisi RTK baasjaamu.

Geosoft OÜ ja Hades-Invest OÜ parandid on saadaval tasulise teenusena.

1.2. RTK täpsus ja põhilised veaallikad

Süsteemi ülesehituse tõttu on RTK meetodi täpsus piiratud, seda eelkõige vertikaalsel teljel, mille puhul suurim saavutatav täpsusklass on üks sentimeeter (Paar *et al* 2011), ehk siis võrreldamatu klassikaliste kõrguse määramise meetoditega (nivelleerimine, trigonomeetriline kõrguse määramine tahhümeetriga).

Katseliselt on kindlaks tehtud erinevate keskkonnategurite mõju RTK ja muude GNSS seadmete täpsusele. Kõige sagedasem vea tüüp on nn mitmeteelisus mis kujutab endast signaali peegeldumist objektidelt või pinnaselt ning seejärel juba hilinenud andmetega jõudmist vastuvõtjasse. Mitmeteelisuse vead on tavaliselt ka GPS käsiseadmetes anomaaliate esinemise põhjuseks ning neid esineb eelkõige piiratud nähtavuse tingimustes (metsas, siseruumides, kaljude vahel).

1.2.1. Mitmeteelisus

Mitmeteelisus on liikuvjaama poolt raskesti tuvastatav ning ka keeruliselt modelleeritav andmetöötluse käigus. Sisuliselt kõik, mis on võimeline peegeldama satelliidisignaale, võib tekitada ka mitmeteelisust ning luua koordinaadiarvutustes vigu. Kui peegeldunud signaal jõuab vastuvõtjani, tuvastatakse signaali poolt informatsioonina kantav vastuvõtuaeg kui aeg, mis kulus signaalil satelliidilt otse vastuvõtjani jõudmiseks, kuigi tegelikkuses oli aeg suurem peegelduse tõttu. See aga „petab“ vastuvõtjat ning arvutustes kasutatakse vale aega ja distantssi, mis loob vea asukoha määramisel konkreetse satelliidi suhtes (Henning 2011). Sellest tulenevalt võib signaalis esineda „müra“ ning mõõdistaja peaks olema ettevaatlik näiteks puude, ehitiste, metalli ja veekogude läheduse suhtes. Kindlasti ei tohiks baasjaama püstitada väga lähedale puudele, struktuuridele 30 meetri raadiuses, mis on kõrgemad kui baasjaam, ehitistele, veekogudele ja liiklusmärkidele (Henning 2011).

Kuigi signaali mitmeteelisus on enamasti RTK ja muude GNSS süsteemide kasutamisel ebameeldiv ja segav nähtus, on see leidnud kasutust eraldi teabeallikana erinevates pinnakattega seotud analüüsides. Näiteks võib tuua mulla niiskusesisalduse, jääkatte paksuse, lume veesisalduse ja maapinna elektrijuhtivuse karakteristikute mõõtmise (Jacobson 2010). Käesoleva töö kontekstis mitmeteelisuse kasulikkust ei käsitleta.

1.2.2. Varjestus

Selgeks on tehtud, et tõsiste varjestavate faktorite (eelkõige ehitised) olemasolu takistab väga oluliselt GPS seadme ühendumist satelliitidega. Ka juhul, kui on saavutatud satelliitühendus rasketes tingimustes, on seadmed siiski võimelised enamasti arvutama välja vaid suhteliselt ebamäärase positsiooni, ehk tulemused ei ole sageli täppismõõtmiste kriteeriumitele vastavad (Ata 2014). Ehitiste läheduses, eriti kui piiratud on rohkem kui üks külg, esinevaid ebatäpsusi GNSS seadmete puhul on uuritud kui linnakanjoni efekti, ning võimalusi selle vältimiseks on mitmeid (Ben-Moshe *et al* 2011).

Sarnaseid vigu võib esineda ka tiheda metsa puhul, olenemata liikuvjaama indikaatorite headest näitajatest. Sellest tulenevalt tasub pöörata tähelepanu ka kõrge taimkatte olemasolule mõõtepiirkonnas ning eelistada RTK mõõtmistel aega, mil puud ei ole lehtes (Pirti *et al* 2009). Vastasel korral on otstarbekam töö läbi viia digitahhümeetri abil.

1.2.3. Baasjoone pikkus

Erinevusi tulemustes võib tekitada olukord, mille käigus on baasjoon (ehk sirgjoon baasjaama ja liikujaama vahel) piisavalt pikk, et atmosfäär tekitaks muutusi signaali kvaliteedis. Lühikese baasjoone (pikkus kuni mõni kilomeeter) puhul võib atmosfäärimõjutused lugeda sisuliselt olematuks, samas kui pikemate baasjoonte puhul tuleks korrektsete tulemuste saamiseks modelleerida suuremal või vähemal määral atmosfääris tekkivaid mõjutusi (Odolinski *et al* 2014). Sellistele kaalutlustele tuginedes toimus ka käesoleva töö koostamise käigus läbiviidud välitööde punktide valik.

1.2.4. Satelliitide asend

Satelliitide geomeetriast sõltuv asukohamääramise täpsuse vähenemine (PDOP, *Position Dilution of Precision*) on ühikuta väärtus, mis näitab horisontaalsete ja vertikaalsete mõõtemääramatuste esinemist sõltuvalt satelliitide geomeetriast (Rüdja, Sander 2013). Lihtsustatult on PDOP puhul tegu positsioneerimistäpsuse ja mõõtmistäpsuse suhtega ning satelliitide halvast asendist tulenev veahinnang saadakse, kui korrutatakse vaadeldavate objektide weakomponendid DOP väärtusega. Mida väiksem on PDOP väärtus, seda suurem on täpsus, kuid väärtuseks ei saa olla kunagi null (mis eeldab, et kasutaja saab perfektse täpsushinnangu olenemata teiste veaallikate olemasolust). Normaalses oludes on PDOP väärtus alla ühe, näidates, et positsioneerimise ruutkeskmise väärtus on väiksem kui mõõdistuse standardhälve. Lihtsustatult öeldes – mida tihedamalt asetsevad satelliidid, seda suurem on PDOP väärtus ning mida hajusamalt, seda väiksem (Henning 2011).

2. Andmed ja metoodika

2.1. Mõõdistusvõrk

Hüpoteesi kontrollimiseks rajati mõõdistusvõrk punktidega kolmes kohas. Punktide valikul lähtuti põhimõttest, et punktid asuksid baasjaama suhtes võimalikult võrdsel kaugusel, kuid samas täidaksid hüpoteesi kontrollimiseks vajalikke kriteeriume, samas tekitamata liiga pikka baasjoont. Täielikult võrdse kauguse tagamine ei olnud võimalik tänu huvipakkuvate objektide puudusele vastava ringjoone peal. Kuigi mobiilandmeside puhul pole sidevõimaluse tõttu kaugus piiratud, tuleb siiski arvestada mõõtmistäpsuse sõltuvusega vahemaast (Rüdja, Sander 2013). Punktide asukoht ja kaugus baasjaamast on välja toodud joonisel 1.

2.1.1. Baasjaam

Baasjaam püstitati eravaldusel asuva maja katusele vältimaks selle turvamise vajadust mõõtmistööde ajal. Baasjaama asukohavalikul olid olulised põhimõtted, et horisont oleks avatud, mitmeteelise oht võimalikult väike ning statiiv püstitatud stabiilselt (Rüdja, Sander 2013). Kuna töö läbiviimisel oli tähtis, et baasjaama saaks jätta valveta töötama, ei olnud võimalik valida asukohta, kus kõik punktid asetseksid baasjaamast täpselt samal kaugusel.

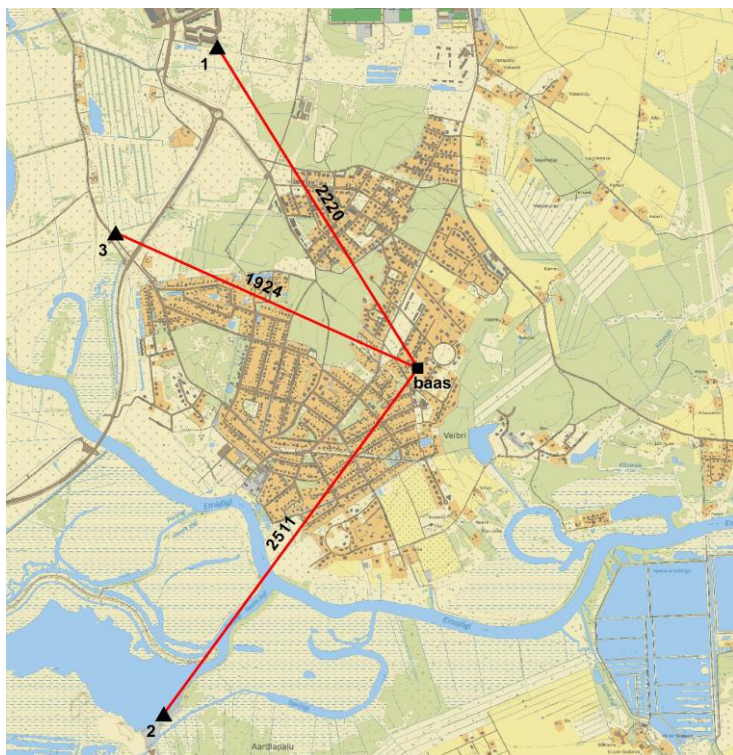
Töös kasutatud baasjaama asukoha koordinaadid (L-EST 97 $x=6471020,098$; $y=663403,8748$ mõõdeti ära kaheksa mõõtmise keskmisena (tabel 1), seejuures antud mõõtmisel oli baasjaam seatud üles riiklikus geodeetilises punktis nr 10021 (L-EST 97 $x=6471227,712$; $y=663223,839$). Baasjaama mõõtmine tuli läbi viia kokku kahel korral, kuna esimesel korral esines pakane ning lisaks antud ajahetkel veel tuvastamata probleem baasjaama iseeneslike taaskäivitumistega.

Punkti nr 10021 näol on tegemist kohaliku võrgu II järgu punktiga. Õnnestunud baasjaama koordinaadi mõõtmine toimus 2.01.2016 ajavahemikul 15:40-15:45 ning mõõtmise ajal oli välistemperatuur +2 kraadi, taevast oli kaetud ühtlase pilvkatttega. Mõõtmise käigus ootamatusi ei esinenud. Baasjaama mõõdistuse tulemused on kujutatud tabelina (tabel 1).

Tabel 1. Baasjaama mõõdistamise tulemused.

NIMI	N	E	H	KOOD
10021	6471227,712	663223,839	65,539	g1
1	6471020,09	663403,875	66,544	bbb
2	6471020,092	663403,878	66,548	bbb
3	6471020,097	663403,878	66,55	bbb
4	6471020,103	663403,874	66,545	bbb
5	6471020,101	663403,873	66,542	bbb
6	6471020,097	663403,873	66,536	bbb
7	6471020,098	663403,874	66,538	bbb
8	6471020,103	663403,873	66,551	bbb
Keskmine	6471020,098	663403,8748	66,54425	

Inimfaktorist põhjustatud erinevuste vältimiseks paigaldati liikuvjaam igas punktis statsionaarsele statiivile. Sellest hoolimata ei ole mõõtmistulemused omavahel võrreldavad punkti pealt sama asukoha kontekstis, kuna veekogu ääres asuva mõõdistuspunkti (punkt nr 2) puhul ei olnud võimalik tsentreerida treegerit alati täpselt samasse kohta.



Joonis 1. Punktide kaugused baasjaamast.

2.1.2. Betoonehitise punkt

Betoonehitiste võimaliku mõju selgitamiseks oli valitud punkt nr 1. Punkt oli kolmest küljest taevale avatud, kuid loodest piiratud viiekordse korruselamuga (joonis 2). Muudes suundades märgatavad võimalikud segajad puudusid. Esines vähesel määral madalaid raagus puid. Punkt nr 1 asub baasjaamast 2220 m kaugusel.



Joonis 2. Punkti nr 1 asendiplaan.

2.1.3. Veepinna punkt (karjäär)

Veepinna võimaliku mõju uurimiseks oli üles seatud punkt nr 2, mis asus AS Ropka Liiv territooriumil ja võimaldas tänu veekogule ka väga hästi avatud horisonti. Sarnaselt eelmise punktiga oli võimalik segav tegur (veekogu) ainult ühes suunas (loodes), kui muudest külgedest piiras punkti liivane ja mullane pinnas (joonis 3).

Punkt nr 2 asub baasjaamast 2511 m kaugusel.

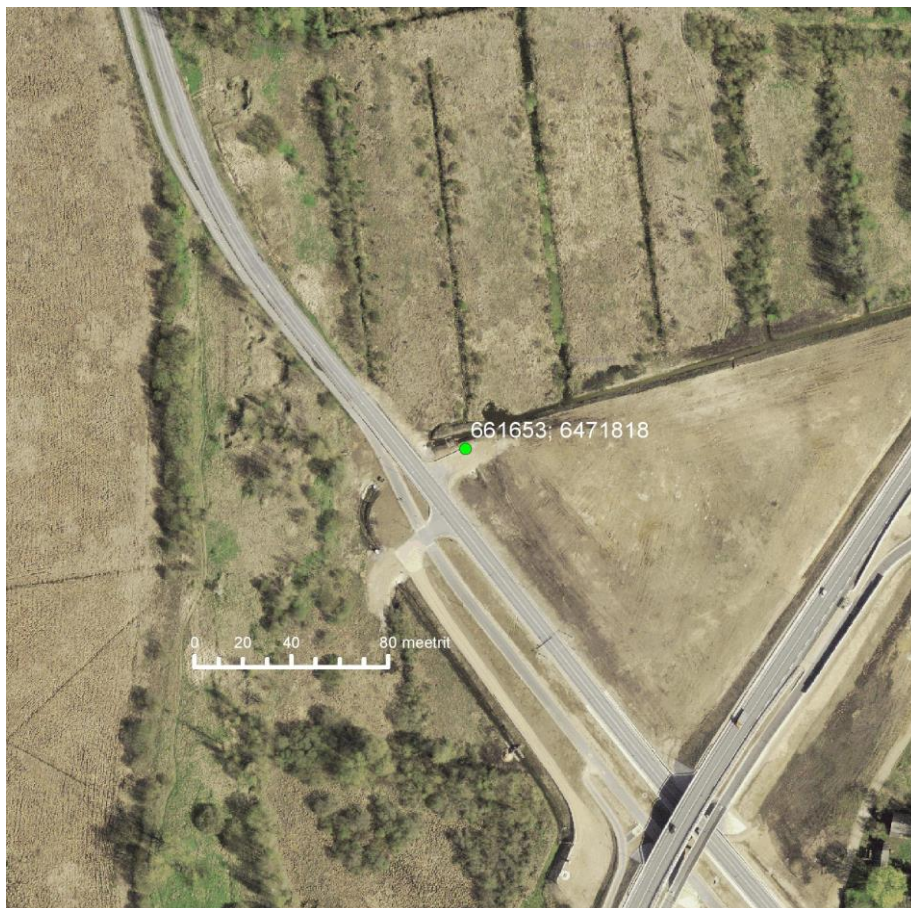


Joonis 3. Punkti nr 2 asendiplaan.

2.1.4. Avamaastiku punkt

Avamaastikul asuv punkt (nr 3) oli valitud kui punkt, mille vahetus läheduses puudusid silmnähtavad mõõdistustulemusi häirivad tegurid. Lähim potentsiaalselt signaali moonutav ehitis (sild) asub antud punktist ligikaudu 150 meetri kaugusel (joonis 4). Seda punkti kasutasime ka võrdlusmaterjalina punktidele nr 1 ja 2.

Punkt nr 3 asub baasjaamast 1924m kaugusel.



Joonis 4. Punkti nr 3 asendiplaan.

Üles märgiti ilmastikuolud (pilvisus ja sademed - vaadeldud visuaalselt, temperatuur – lähtudes EMHI andmetest) juhuks, kui mõõdistamiste käigus tekib kahtlus, et ilmaolud võivad oluliselt mõjutada saadavaid tulemusi.

Punktides nr 1 ja 2 kasutati uuritava seadme ülesseadmisel Sokkia originaalstatiivi, punktis nr 3 seati liikuvjaam üles isevalmistatud statiivile, mis valmistati spetsiaalselt kinnitumaks teepiirde tugiposti külge, et tagada stabiilsus (lisa 2).

2.2. Kasutatud mõõdistusrežiimid ja andmete töötlus

Selgitamaks Sokkia GSR 2700ISX täpsust, viidi mõõtmised läbi kahes režiimis – harilikus topomõõdistuse režiimis 15 sekundiliste epohhide, mille jooksul toimus 15 alammõõdistust, ja 15 sekundiliste pauside kestel kokku 7 mõõdistust ning *Continuous Topography* (pidevtopograafia) režiimis mõõdistused 1-sekundiliste intervallidega 5 minuti vältel. Nimetatud mõõdistusrežiimid valiti välja seetõttu, et tavaline topomõõdistus on tavapärane režiim geodeetiliste mõõtmiste läbiviimisel ning saadud tulemus on keskmistatud (antud juhul üks mõõdistus 15 alammõõdistuse keskmine), ning pidevtopograafia puhul on võimalik näha, kuidas muutuvad koordinaadid igas sekundis. Pidevtopograafilise mõõdistuse režiimi 5-minutilise pikkuse juures on võimalik näha tekkivaid tendentse, kuna selle aja jooksul teeb seade 300 eraldiseisvat mõõdistust. Ühesekundiliste intervallide puhul joonistuvad graafikutes välja tulemused, mida ei pruugi olla näha keskmistatud tulemuste (topomõõdistuse) puhul.

Hariliku topomõõdistuse režiim on kasutusel peamiselt seetõttu, et näha, kas 15-sekundiliste mõõdistuste puhul joonistub samuti välja tulemuste selge erinevus või taandab keskmistamine võimalikud erinevused.

Andmete analüüsil kasutati võrdluseks peamiselt standardhälvet ja standardhälbeellipsit, vertikaalse koordinaadi puhul visualiseerimiseks ka joongraafikuid. Standardhälbe kasutamine võrdlusena on eelistatud seetõttu, et punktid, kus mõõdistamine toimub, ei ole välja mõõdetud teiste meetodite abil ning sellest tulenevalt ei võrrelda mitte hälbimist kindlast punktist, vaid üldist hajutatust antud mõõdistuse keskväärtuse suhtes.

Standardhälbeellipsi puhul on võrdluseks välja toodud ellipsi nurk ja pooltelgede pikkused. Ellipsi nurk näitab, milline on punktipilve suund ning pooltelgede pikkus punktide koondatust. Lisaks on kirjeldava statistikuna välja toodud ellipsi ekstsentrilisus, mis väljendab piltlikult öeldes ellipsi lapikust ehk punktipilve hajutatust kindlal suunal. Mida lähemal on ekstsentrilisuse näitaja väärtusele 1, seda väljavenitatum on ellips.

Andmete töötlemisel oli kasutusel Microsoft Excel 2013, mille lisana oli kasutusel statistikaprogramm XLSTAT 2016. Kirjeldavate statistikute mõistmisel aitas kaasa „Statistika üldteooria“ (Mereste 1975).

Andmete visualiseerimiseks kasutati programmi ArcGIS 10.2.2, mille abil omistati personaalselt iga mõõdistamise tulemusel tekkinud punktipilvele standardhälbeellips suurusega 2 standardhälvet, millesse mahutub 95% punktidest (Mereste 1975).

Lisaks visuaalsele ellipsile kuvab ArcGIS atribuutandmetena ka punktipilve statistilisi näitajaid, millest tulenevalt on võimalik tulemusi omavahel võrrelda nii lühemate kui pikemate mõõdistuste kontekstis. Standardhälbeellips summeerib ruumiliste andmete näitajaid nagu dispersioon ja suunatrendid (Forghani, Delavar 2014).

Näited mõõdistamise tulemusena saadud toorandmetest ja töötlemiseks korrastatud andmetest:

Toorandmed:

k1,6468986.615,661930.690,48.653,g3

k2,6468986.617,661930.691,48.658,g3

k3,6468986.616,661930.688,48.660,g3

Korrastatud andmed:

kood	N	E	h	kood2
k1	6468986,615	661930,69	48,653	g3
k2	6468986,617	661930,691	48,658	g3
k3	6468986,616	661930,688	48,66	g3

2.3. Aparatuur

Uuritavaks RTK-GPS seadmeks on Sokkia GSR 2700 ISX, mille kasutamiseks seati üles komplekti kuuluv baasjaam. Komplekt koosneb kahest identsest GPS seadmest, millega opereerimiseks on kasutusel väliarvuti Allegro CX. Mõlemat seadet saab kasutada nii baas- kui liikuvjaamana. Baasjaama kinnitamiseks maja katusele kasutati spetsiaalselt valmistatud alust, mis paigaldati statsionaarselt kogu mõõdistustööde ajaks. Mõõdistuspunktides kasutati Sokkia originaalstatiivi treegeriga ja ühe punkti puhul ka spetsiaalselt valmistatud statiivi, mis kinnitus poltidega teepiirde külge (lisa 2).

Baas- ja liikuvjaam kasutasid parandite edastamisel GSM andmesidet.

Sokkia GSR 2700ISX on olemuselt mitmekülgne RTK seade, mida on võimalik vastavate lisaseadmete olemasolul kasutada lisaks GSM andmeside režiimile ka raadioside režiimis või NRTK võimalusega. Sokkia GSR 2700ISX tehnilised andmed on välja toodud lisa 1.

2.4. Mõõdistustööde ettevalmistamine ja probleemid

2.4.1. Ettevalmistustööd

Peamised takistused töö läbiviimisel tekkisid peamiselt baasjaama ja liikuvjaama vale seadistuse tõttu. Selgus, et seadme pikast seismisest oli väliarvuti Allegro CX mälu tühjenenud, osad seaded kustunud ja ekslikult ümber seadistatud.

Näiteks olid eelmised kasutajad baasi ja liikuvjaama seadistamisel defineerinud ühe seadmetest kui lemmikseadme, millest tulenevalt hakkas väliarvuti Allegro CX sisselülitamisel automaatselt otsima vaid liikuvjaama. Seetõttu ei olnud alguses võimalik saada ühendust ega saata seadistusi baasjaamana kasutatavasse seadmesse. Lisaks esines probleeme programmi SDR+ seadistuses, mille tõttu tuli luua uued profiilid, tagamaks GSM ühenduse korrektne töö liikuv- ja baasjaama vahel.

Mõnel puhul jäi mõistmatuks ka probleemi olemus ning peale seadme taaskäivitamist probleemi ei esinenud.

Mõõdistustööde käigus esines ka teadmata põhjusega probleeme, mistõttu ei saanud liikuvjaam korduvalt baasiga ühendust. Kuna probleeme esines ainult ühes punktis, on alust arvata, et tegu on kas nõrgast mobiilsidest tuleneva või mõne teadmata päritoluga probleemiga.

2.4.2. Uus püsivara

Üheks probleemiks oli ka baasjaama iseeneslikud taaskäivitamised, millest tulenevalt ei saanud mõõtmiste käigus baasjaam mõnikord ühendust liikuvjaamaga või kadus ühendus teadmata põhjusel. Arvatavaks vea allikaks oli seadmete vananenud püsivara (*firmware*). Seetõttu tekkis baasjaamal viga GLONASS andmete allalaadimisel, mis põhjustas kokkuvõttes seadme taaskäivitumise. Vea lahendamisel oli abiks surveyorconnect.com foorum, mis on oluline maamõõtjaid ja kasutajakogemusi koondav internetikeskkond.

Baasjaamal oli algselt peal tarkvaraversioon 3.2, mis uuenduse käigus asendati versiooniga 3.7. Vanemad versioonid kui 3.5 (kaasaarvatud) evisid tarkvaraviga, mis põhjustas seadme iseeneslikke taaskäivitumisi (Sokkia 2010).

Edaspidisel Sokkia GSR2700ISX tüüpi GNSS seadme kasutamisel tuleb saadud kogemustele tuginedes kindlasti olla teadlik aparatuuri iseärasustest ning probleemide tekkimisel tegutseda kaalutletult, vältimaks täiendavate vigade tekitamist. Kindlasti veenduda, et seadmetes on uusim püsivara ja sätted vastavalt kasutusjuhendile paika pandud.

2.5. Mõõdistused

Mõõdistused toimusid eelkõige lähtuvalt asjaolust, et mõõta saaks erinevates tingimustes, muuhulgas erinevates ilmastikutingimustes, mis võivad omakorda olla potentsiaalseks allikaks mõõdistustööde ebaharilike tulemuste puhul. Mõõdistustööde ajal esines nii lumikatet, sademeid kui ka jääkate veekogul. Jälgiti ka asjaolu, et mõõdistused ei oleks alati samal kellaajal ning punktide mõõtmine toimuks erinevas järjekorras, et vältida satelliitide asendist tingitud võimalikke mõjutusi. Testmõõdistuste tulemused käesolevas töös ei kajastu, sest erinevate probleemide tõttu ei olnud võimalik neid lõpuni viia.

2.5.1. Esimene talvine mõõdistus

Kuupäev: 12.02.2016

Kellaaeg: 15:30-17:40

Temperatuur: +2 kraadi

Pilvisus: 100%

Sademed: õrn lumesadu

Mõõdistuspaikade järjestus: 3-2-1

Esimene tõrgeteta möödunud mõõdistus toimus 12. veebruaril 2016, kui läbi käidi kõik kolm mõõdistuskohta. Selgus, et mõõdistuspunkti nr 1 esialgne asukoht on ebasobiv RTK ühenduse loomiseks baasjaamaga, millest tulenevalt sai punkt nihutatud eemale esialgsest asukohast. Tõenäoliselt varjas elumaja liiga suurel hulgal satelliite või segas GSM ühendust.

Olulisematest tähelepanekutest võib välja tuua asjaolu, et teadmata põhjusel esines mõõtepaigas nr 2 GPS seadmel raskusi mõõdistustöö läbiviimisel pidevtopograafia režiimis 1-sekundilise intervalli jooksul, mida muudes paikades mõõdistades ei täheldatud. Kuna

mõõdistuspaiga ümbruses lendas otsinguid teostanud helikopter, võib selle rootor või kasutatud lisaseadmed olla vigaste tulemuste esinemise põhjuseks.

2.5.2. Teine talvine mõõdistus

Kuupäev: 17.02.2016

Kellaaeg: 14:00-17:00

Temperatuur: 0 kraadi

Pilvisus: 10%

Sademed: ei esinenud

Mõõdistuspaikade järjestus: 2-1-3

Veekogul oli peal jääkiht, maad kattis õhuke lumekiht.

Olulisematest tähelepanekutest mõõdistustööde käigus võib tuua probleemide puudumise mõõdistuspaigas number 2, kus esimesel korral mõõdistustööde ajal esines mitmeid vigu. Töö koostaja arvates võib tegemist olla olukorraga, kus jääkiht on mitmeteelisuse vea tekitamise seisukohalt passiivsem kui vedel vesi.

Erinevalt esimesest korrast esines kõige rohkem ootamatusi mõõtepaigas nr 3, kus oli liikuvjaamal raske saada ühendust baasjaamaga, ning RTK lukustuse saamiseks tuli liikuvjaam käivitada eemal mõõdistuspunktist. Kuna mõõtepiirkonnas esines lumikate ja liikuvjaam asub statiivile asetatuna maapinnale suhteliselt lähedal, on võimalik, et lumikatte peegeldus mõjutas antud olukorras ühenduse saamist.

Hetkeks esines probleeme ka punktis nr 1, kuid mõne aja möödudes suutis liikuvjaam RTK lukustuse siiski luua.

2.5.3. Esimene kevadine mõõdistus

Kuupäev: 11.04.2016

Kellaaeg: 13:00-16:00

Temperatuur: +12 kraadi

Pilvisus: 40%

Sademed: ei esinenud

Möödistuspaikade järjestus: 2-1-3

Sarnaselt eelneva möödistusega esines punktis nr 3 liikuvjaamal raskusi baasjaama ühenduse loomisega, millest tulenevalt tuli seade ka sel korral käivitada kaugemal. Tõenäoliselt on vea põhjuseks nõrk mobiilside levi, kuna punkt asub madalamal ümbritsevast, kuid kuna tööde teostamise ajal ei olnud võimalik kasutada pädevat mööteaparatuuri levi kontrollimiseks, on tegu oletusel põhineva väitega. Välistada ei saa ka segavaid faktoreid maa-aluste kaablite, kõrgepingeliinide või muude läheduses asuvate kommunikatsioonide näol.

Möödistuspunktis nr 2 oli tänu kevadisele sulale tõusnud veetase, millest tulenevalt tuli statiiv asetada vette, kuid sellest hoolimata oli võimalik tsentreerida seade punkti kohale piisava täpsusega.

Lumikatet ei esinenud ning veekogu eelnevalt katnud jääkate oli täielikult sulanud, esines kerget veepinna lainetamist. Probleeme esines esimesel möötmisel aparadi seadistamisel (liikuvjaama COM 8 pordi asemel tuli kasutada COM 6 porti, mis harilikult on reserveeritud baasjaamale).

2.5.4. Teine kevadine möödistus

Kuupäev: 22.04.2016

Kellaaeg: 12:30-15:30

Temperatuur: +6 kraadi

Pilvisus: 90%

Sademed: ei esinenud

Möödistuspaikade järjestus: 2-1-3

Probleeme möödistuspaikade nr 2 ja 1 puhul ei esinenud, küll aga ilmnis taaskord vigu ühenduse loomisel baasjaamaga ning liikuvjaam tuli korduvalt viia möödistuspaigast eemale

(olukord ei muutunud ka kõrgema statiivi kasutamisel antud punktis). Kui liikuvjaam oli suutnud baasjaamaga ühenduse luua, möödusid mõõdistused tõrgeteta. Antud mõõdistuse ja ka kahe eelneva puhul võib välja tuua tähelepaneku, et kui algtundmatute lahend on saavutatud, on seade võimeline hoidma RTK sidet fikseerituna, kuid kui tingimused on seadmele mingil põhjusel sobimatud ja täpsus seetõttu halb, tekib probleeme juba RTK initsialiseerimise (algtundmatute lahendi) saavutamisel.

3. Tulemused

3.1. Tulemused punktide kaupa

3.1.1. Punkt nr 1

Mõõdistuspunkt nr 1, mida antud uuringu kontekstis käsitleti eelkõige võrdlusmaterjalina punktidele nr 2, hoolimata piiratud nähtavusega horisondist anomaaliaid esile ei toonud. Kõigi mõõdistuste kokkuvõttes võib öelda, et antud uurimuse käigus kujunes käesolev punkt kõige probleemivabamaks. Küll tuli esialgset punkti nihutada hoonetest eemale, sest seade ei suutnud ilmselt liigse varjestuse tõttu RTK lukustust luua. Nihutatud punktis probleeme ette ei tulnud.

Veaellipsid tulid eranditult väljavenitatuna põhja-lõuna suunal, seejuures kõige suuremad horisontaalsed standardhälbed esinesid kolmandal mõõdistusel (läbi viidud 11. aprillil) vastavalt põhja- ja idasuunal lühikesel mõõdistusel 2,8 ja 1,6 mm, pikal mõõdistusel 6,1 ja 2,5 mm. Kõige suurem vertikaalne standardhälve aga neljanda mõõtmiskorra (läbi viidud 22. aprillil) pikal mõõdistusel - 6,8 millimeetrit.

Kolmandal mõõdistusel joonistub kõrguste graafikust välja ka sarnaselt samal päeval läbi viidud punkti nr 2 mõõdistusele üsnagi suur pidev kõikumine (pidevalt 2 cm ulatuses). Kui üldiselt kujunes kõrguste muutuse trendijoon punkti nr 1 korral kergelt nii üles- kui allapoole varieeruvaks, siis neljandal mõõtmiskorral oli trend kergelt tõusvas joones.

Tabel 1. Standardhälbed betoonehitise punktis (nr 1).

	N (lühem/pikem)	E (lühem/pikem)	h (lühem/pikem)
12.02.2016	2,7/4,9 mm	1,3/1,7 mm	4,3/5,8 mm
17.02.2016	3,5/3,1 mm	0,9/1,9 mm	3,2/5,4 mm
11.04.2016	2,8/6,1 mm	1,6/2,5 mm	3,8/5,6 mm
22.04.2016	3,7/3,2 mm	1,3/2,6 mm	2,9/6,8 mm

Punktis nr 1 läbiviidud mõõdistamiste tulemuste kokkuvõtteks võib öelda, et kui puuduvad täiendavad segajad ja RTK suudab lukustuse luua, on suur tõenäosus, et ühel küljel esinev takistus ei mõjuta märkimisväärselt tulemusi pikema aegrea puhul.

3.1.2. Punkt nr 2

Mõõdistuspunktis nr 2, mis antud uuringu kontekstis oli kõige suurema tähelepanu all, hoolimata veekogu suhtelisest lähedusest erilisi anomaaliaid ei esinenud. Esimesel mõõdistuskorral, mis toimus 12. veebruaril, esines küll teatavaid häiringuid (mõningate epohhide vahele jätmise), mis esialgu omistati peegeldava veepinna süüks, kuid mida hilisematel vaatlustel sarnastes tingimustes (lainetav veepind) siiski enam ei täheldatud. Sellest tulenevalt sai eemaldatud esimese mõõdistuse tulemuste hulgast ka selgelt anomaalsed andmed. Kuna mõõdistuspaiga läheduses lendas vaatluse läbiviimise ajal piirivalve helikopter, ei ole välistatud selle küljes olevate eriseadmete (radar vms) segav mõju mõõteseadmele.

Veaellipsid antud punktis olid valdavalt põhja-lõuna suunalised, välja arvatud teisel mõõdistuskorral (17. veebruaril), kui lühema mõõdistuse ellips kujunes nõrgalt ida-lääne suunaliseks (pikem ja lühem pooltelg vastavalt 4 ja 3 mm). Antud mõõdistuskorral kujunes ka pikema mõõdistuse ellips ümaramaks kui ülejäänud mõõdistuste korral. Ellipsid on täpsemalt analüüsitud punktis 3.3.

Teisel mõõdistuskorra lühemal mõõdistusel kujunesid välja ka antud punkti kõige madalamad standardhälbenäitajad (põhja-, idasuuna ja kõrguse näitajad ligikaudu 1 mm). Tõenäoliselt võib võrdlemisi heade tulemuste taga olla asjaolu, et veekogu võimalik mõju oli välistatud veepinna jääkatte poolt.

Kui üldiselt olid tulemused võrdlemisi stabiilsed, siis kolmanda mõõtmise, mis viidi läbi 11. aprillil, näitas kõrguste trendi muutus mõningast „lainetust“, mida muude mõõdistamiste puhul antud punktis esines tunduvalt vähem.

Tabel 2. Standardhälbed veekoguga piirnevas punktis (nr 2).

	N (lühem/pikem)	E (lühem/pikem)	h (lühem/pikem)
12.02.2016	2,8/3,4 mm	1,5/1,6 mm	3,6/5,8 mm
17.02.2016	0,8/3,0 mm	1,4/2,2 mm	1,5/5,8 mm
11.04.2016	4,4/3,6 mm	1,6/2,0 mm	4,4/5,3 mm
22.04.2016	2,8/3,1 mm	1,2/1,7 mm	3,6/4,0 mm

3.1.3. Punkt nr 3

Üllatuslikult kujunes kõige probleemsemaks punktiks avamaastiku punkt ehk punkt nr 3. Silmnähtavaid probleeme ei esinenud küll esimesel mõõdistusel, kuid nii teisel, kolmandal kui ka neljandal mõõtmisel avaldusid probleemid RTK lukustuse saavutamisel. Lisaks on kõrgust iseloomustavatel graafikutel näha probleemsete mõõdistuste puhul selgelt väga suuri hüppeid. Kolmas mõõtmine, mis oli ühtlasi antud punktis kõige probleemsem, tekitas mõõtmistulemuste maksimaalse erinevuse vertikaalsel teljel ligi 5 cm (standardhälve 10 mm), mis on selgelt rohkem, kui ette nähtud Sokkia GSR2700 ISX tehnilistes andmetes (lisa 1). Samuti esines suhteliselt suur kõikumine neljandal mõõtmiskorral (22.04), mil tuvastati samuti horisontaalne kõikumine kohati rohkem kui 5 cm ulatuses (standardhälve 11 mm). Küll aga ei täheldatud antud mõõtmiskordadel probleeme horisontaalse täpsusega, mida näitab ka suhteliselt harilik standardhälbenäitaja (3 millimeetri ringis nii põhja- kui idasuunal). Samuti kujunes lühema ja pikema mõõdistuse võrdluses välja standardhälbeellipsite suundade vaheline erinevus (lühem mõõdistus 29 kraadi ehk kirde-edela suunaline, pikema mõõdistuse puhul 141 kraadi loode-kagusuunaline). Lisaks on ellips pikema mõõdistuse puhul tunduvalt rohkem välja venitatud (pikem pooltelg 13 mm, lühema mõõdistuse puhul 7 mm).

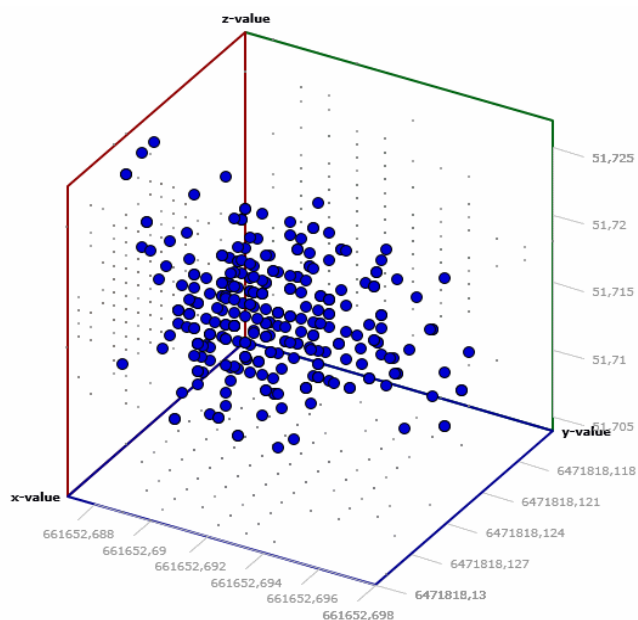
Kõige enam iseloomustabki antud punkti visuaalsete tulemuste kontekstis asjaolu, et kui üldiselt olid mõõdistuste standardhälbeellipsid põhja-lõuna suunalised, siis mõõdistuspaiga number 3 puhul oli varieeruvust antud kontekstis tunduvalt enam.

Esimese ja teise mõõtmise puhul punktis nr 3 olid kõrgusandmed stabiilsemad (pikemate mõõdistuse puhul standardhälve vastavalt 4 ja 5 mm, samuti esines mõnevõrra vähem hälbimist põhja- ja idasuunal (mõlema mõõdistuse puhul vastavalt 3 mm ja 2 mm). Peamine erinevus standardhälbeellipsite vahel avaldus teise mõõdistuse lühemal mõõdistuskorral, mis tekitas erinevalt teistest peamiselt põhja-lõunasuunalistest ellipsitest õrnalt ida-läänesuunalise ellipsi (pikem pooltelg 3 mm, lühem 2 mm).

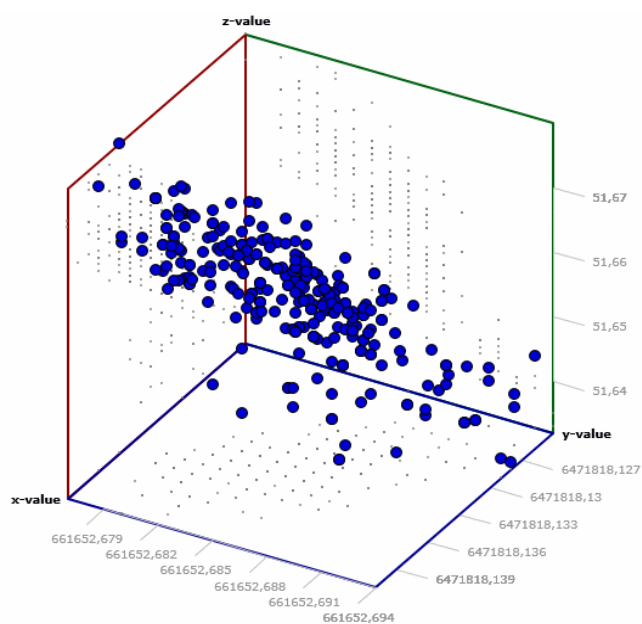
Tabel 3. Standardhälbed avamaastiku punktis (nr 3).

	N (lühem/pikem)	E (lühem/pikem)	h (lühem/pikem)
12.02.2016	3,4/2,7 mm	1,0/2,1 mm	2,3/4,0 mm
17.02.2016	0,8/3,6 mm	1,2/1,9 mm	4,2/4,6 mm
11.04.2016	2,4/3,8 mm	2,0/3,4 mm	7,0/11,0 mm
22.04.2016	1,2/3,6 mm	1,4/3,4 mm	3,8/11,3 mm

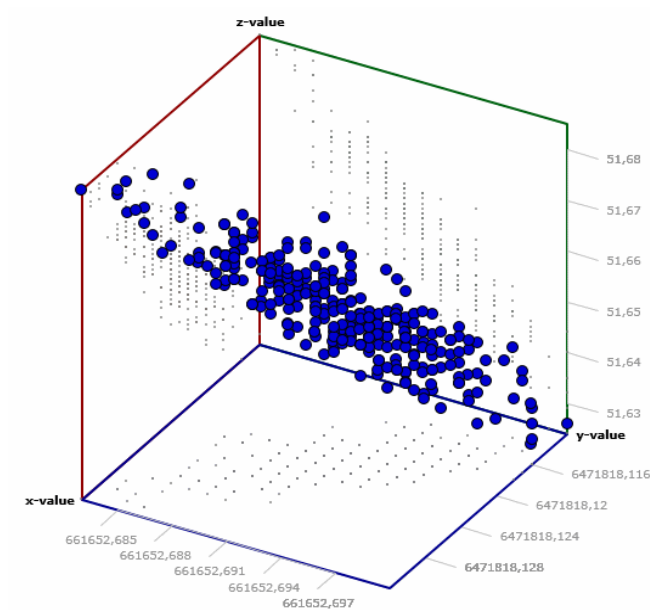
Kolmandale punktile eripärasena tuleb veel välja tuua 11.04 ja 22.04 läbi viidud mõõdistuse puhul ilmnenud silmnähtav punktide koondumine kindlat telge mööda, ehk kui üldjuhul olid tekkinud punktipilved võrdlemisi korrapärase kujuga (joonis 5), siis nimetatud kahe mõõdistuse tulemused punktis nr 3 näitasid selgelt korrapäraseid tendentse mõõdistustulemuste kujunemisel (joonis 6, 7).



Joonis 5. Näide tüüpilisest mõõdistuse punktipilvest. Pikema mõõdistuse punktipilv 12.02 mõõdistuskorral punktis nr 3.



Joonis 6. Pikema mõõdistuse punktipilv 11.04 mõõdistuskorral punktis nr 3.



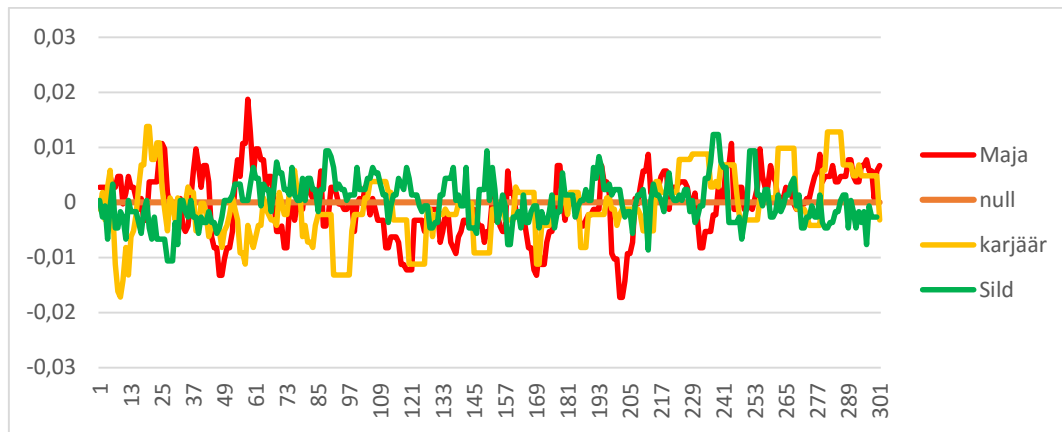
Joonis 7. Pikema mõõdistuse punktipilv 22.04 mõõdistuskorral punktis nr 3.

3.2. Mõõdistuspunktide võrdlev vertikaalne muutlikkus

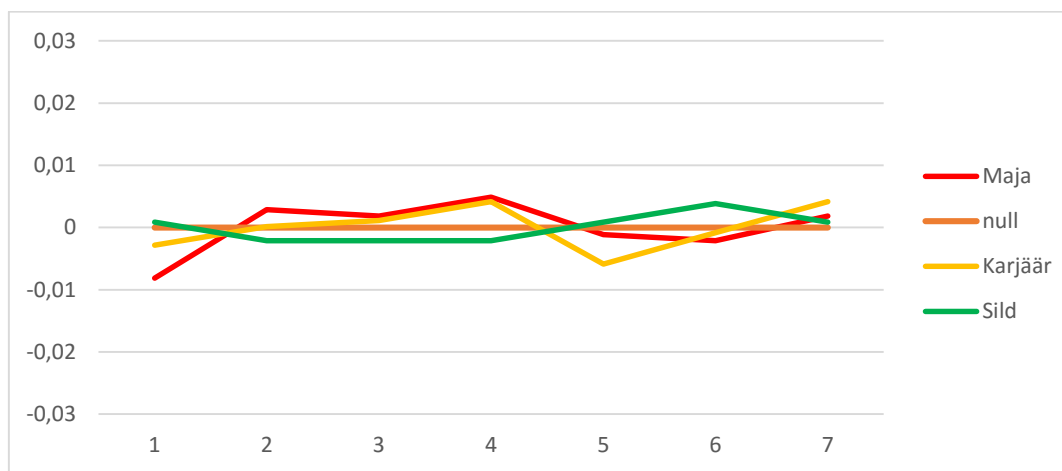
3.2.1. 12. veebruar 2016

Antud mõõdistuse pikal mõõdistuskorral kujunesid kõigi punktide vertikaalsed muutlikkused võrdlemisi sarnaseks, ainsana joonistusid selgelt välja mõnevõrra suuremad äärmused punkti nr 1 (maja) puhul (joonis 8), kus esines kohati muutlikkust kuni 2 cm. Kuna punkti nr 2 (karjäär) puhul olid eemaldatud selgelt vigased tulemused, tulid antud punktis hálbed võrreldavad punktiga nr 3 (sild), kus esines muutlikkust antud mõõdistamise käigus kõige vähem.

Lühikeste mõõdistuste puhul otseseid tendentse märgata ei olnud ning tulemused olid keskmisega võrreldes ± 1 cm vahemikus (joonis 9).



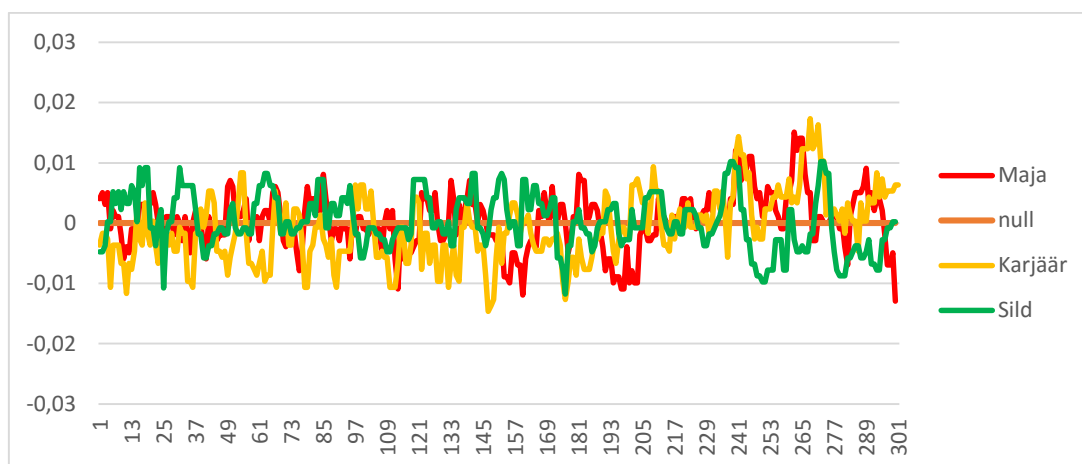
Joonis 8. 12.02.16 mõõdistuskorra pika mõõdistuse tulemused.



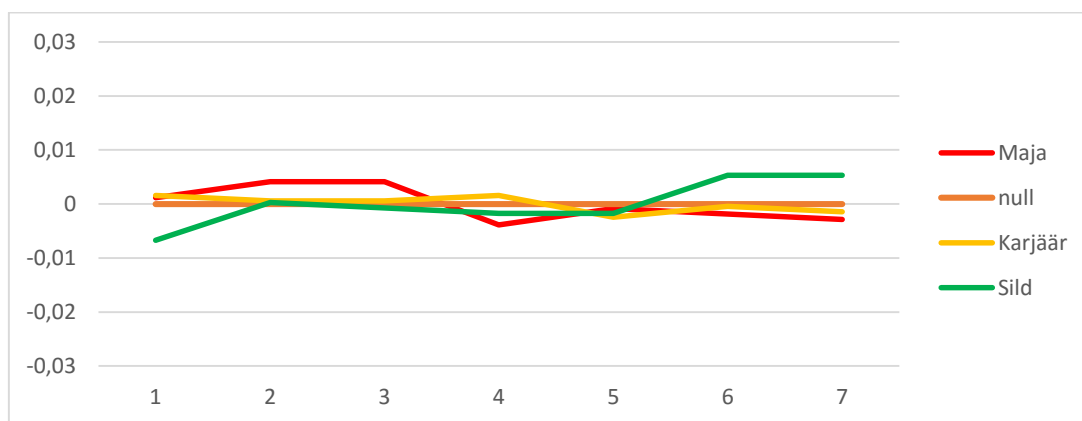
Joonis 9. 12.02.16 mõõdistuskorra lühikese mõõdistuse tulemused.

3.2.2. 17. veebruar 2016

17. veebruaril läbi viidud mõõdistuse pika mõõdistuskorra puhul ei olnud märgata erilisi anomaaliaid ning tulemused jäid keskmisega võrreldes enamasti ± 1 cm piiridesse mõne erandiga (joonis 10), mis kõigis punktides joonistusid välja peamiselt mõõdistuste lõpuosas. Sarnaselt 12.02.2016 läbi viidud mõõdistusega ei joonistunud välja lühikese mõõdistuskorra puhul märgatavat tendentsi ning tulemused vertikaalses komponendis jäid ± 1 cm piiridesse (joonis 11).



Joonis 10. 17.02.16 mõõdistuskorra pika mõõdistuse tulemused.



Joonis 11. 17.02.16 mõõdistuskorra lühikese mõõdistuse tulemused.

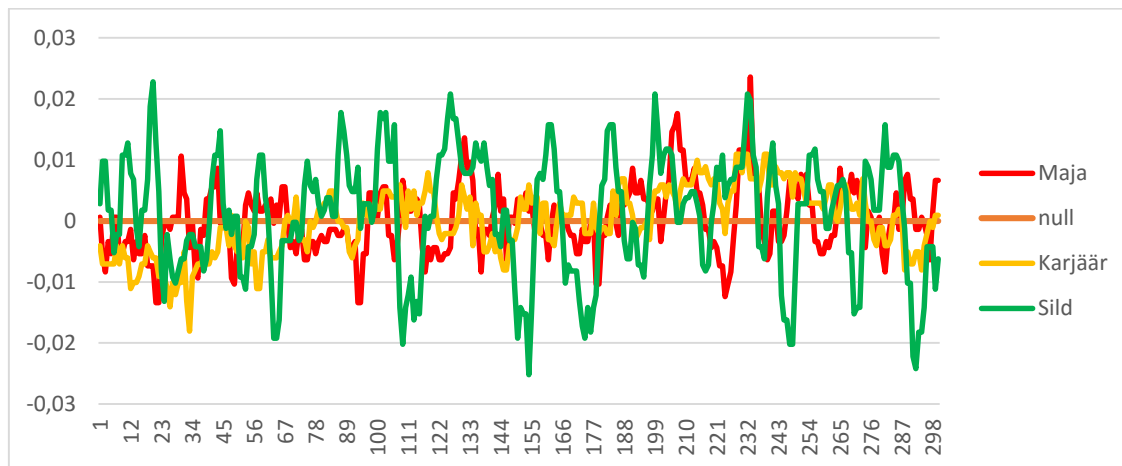
3.2.3. 11. aprill 2016

Erinevalt 12.02 ja 17.02 läbi viidud mõõdistamisest, olid hälbed antud mõõdistamisel tunduvalt suuremad nii pikema mõõdistuskorra kui mõningal määral ka lühema mõõdistuskorra kontekstis.

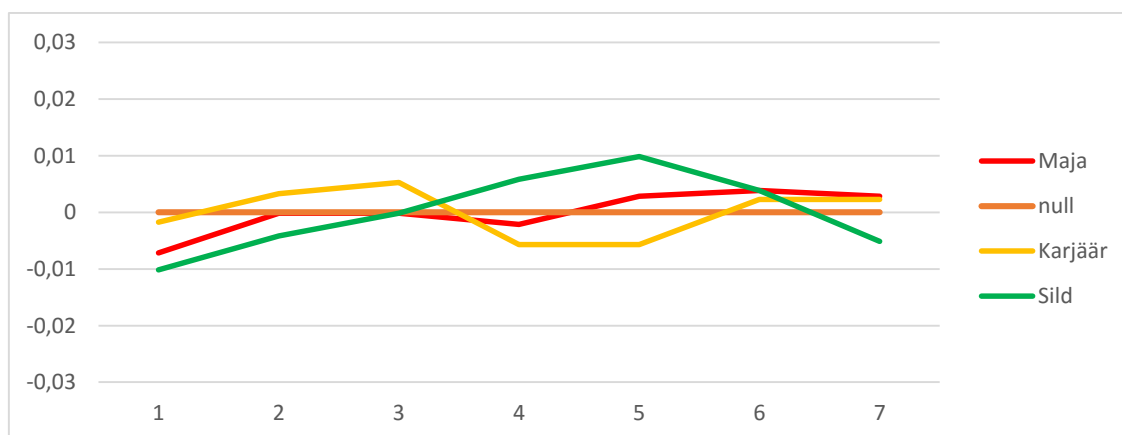
Pikema mõõdistuse puhul olid väga suured äärmused punkti nr 3 (sild) juures, kus hälbed olid pidevalt keskmisega võrreldes suurusjärgus ± 2 cm, mis on pea kahekordne vahe eelmise kahe mõõdistusega võrreldes. Samuti olid tavapärasest suuremad hälbed punkti nr 1 (maja) juures, kus tulemused samuti ületasid kohati ± 2 cm. Kõige stabiilsemad tulemused esinesid punktis nr 2 (karjäär), kus keskmisega võrreldes jäid hälbed enamasti ± 1 cm vahemikku võrreldes keskmisega (joonis 12).

Lühema mõõdistuse puhul esinesid silla puhul samuti mõnevõrra suuremad hälbed kui teistes punktides samal päeval, kuid kokkuvõttes jäädes siiski ± 1 cm piiridesse võrreldes keskmisega (joonis 13).

Ülejäänud punktide puhul lühemal mõõdistusel olulisi erinevusi välja ei joonistu.



Joonis 12. 11.04.16 mõõdistuskorra pika mõõdistuse tulemused.



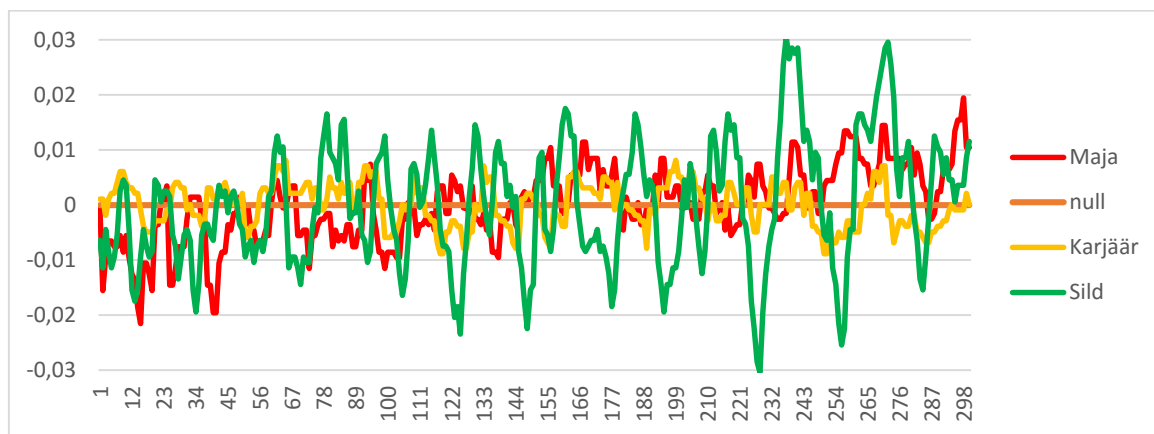
Joonis 13. 11.04.16 mõõdistuskorra lühikese mõõdistuse tulemused.

3.2.4. 22. aprill 2016

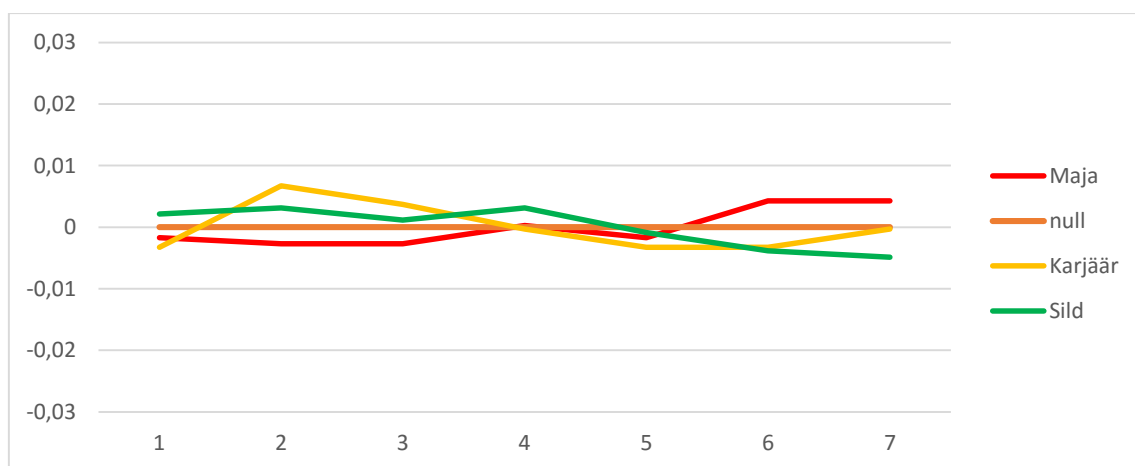
Antud mõõdistuskorra pika mõõdistuse puhul jäid nii punkti nr 1 kui 2 puhul tulemused sarnaseks 11.04 tehtud mõõdistamistega, kuid oluliselt enam hälbisid keskmisest silla (punkt nr 3) tulemused, kõikudes korduvalt vahemikus kuni ± 3 cm, eriti mõõdistuse lõpuosas, samas kui punkti nr 1 (maja) puhul ei ületanud hälve ± 2 cm piiri, ning kõige stabiilsem oli antud

mõõdistuskorral punkt nr 2 (karjäär), mille puhul esines hälvimist vaid vahemikus ± 1 cm (joonis 14).

Lühikeste mõõdistuste kontekstis olulisi erinevusi eelnevate mõõdistustega välja ei joonistunud (joonis 15).



Joonis 14. 22.04.16 mõõdistuskorra pika mõõdistuse tulemused.

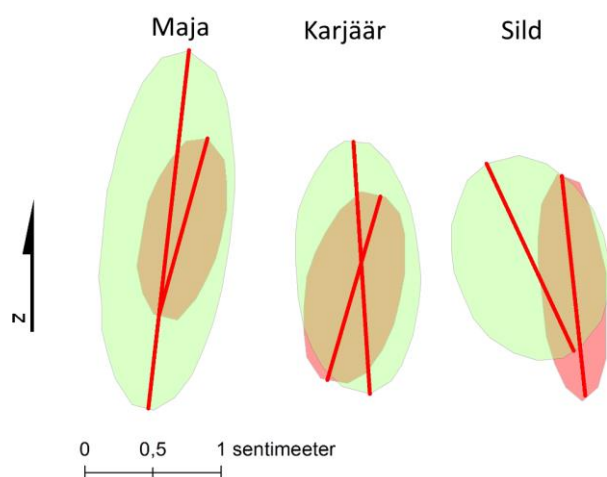


Joonis 15. 22.04.16 mõõdistuskorra lühikese mõõdistuse tulemused.

3.3. Mõõdistuspunktide võrdlev horisontaalne muutlikkus

3.3.1. 12. veebruar 2016

Horisontaalse muutlikkuse osas antud mõõdistuskorra käigus kujunesid nii pikema kui lühema mõõdistuse veaellipsid peamiselt põhja-lõunasuunalistena kõigis punktides. Lühema mõõdistuse veaellipsid kujunesid nii punkti 2 (karjäär) kui 3 (sild) puhul võrreldavateks pikema mõõdistuse ellipsitega, kuid punkti nr 1 puhul oli pikema mõõdistuse veaellips tunduvalt suurem ja väljavenitatum kui lühema puhul (joonis 16).



Joonis 16. 12.02.16 mõõdistuskorra standardhälbeellipsid.

Antud joonist kirjeldav statistika näitab, et pikema mõõdistuse standardhälbeellips maja juures on tunduvalt rohkem välja venitatud kui ülejäänud kahes punktis (tabel 4).

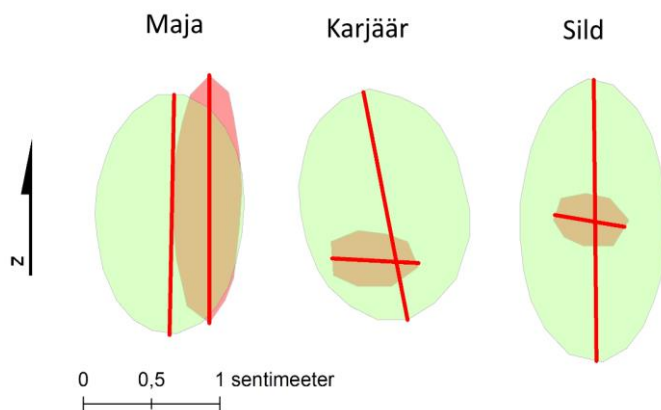
Tabel 4. Esimese mõõdistuskorra pikema mõõdistuse statistilised näitajad.

	pikem telg	lühem telg	suund	ekstsentrilisus	N (st. dev)	E (st. dev)
maja	13,79	4,72	6,15	0,94	4,86	1,74
karjäär	9,67	4,57	177,52	0,88	3,42	1,62
sild	7,87	5,68	165,28	0,69	2,74	2,07

Antud mõõdistuskorra pikemate mõõdistuste puhul kujunes põhjasuuna standardhälve nii maja kui veekogu (karjäär) puhul tunduvalt suuremaks kui sillapunktis, kus ellips kujunes teistest punktides tunduvalt ümaramaks (ekstsentrilisus 0,69, maja ja karjääri puhul vastavalt 0,94 ja 0,88).

3.3.2. 17. veebruar 2016

Antud mõõdistuskorra puhul kujunesid pikemate mõõdistuste veaellipsid eranditult põhja-lõunasuunalised, kuid peamine erinevus tekkis lühikeste mõõdistuste puhul. Punktides 2 (karjäär) ja 3 (maja) kujunesid lühemate mõõdistuste veaellipsid kontsentreeritutena, mõlema puhul ida-lääne suunalisena. Erinevus tekkis punkti nr 1 (maja) puhul, mil lühikese mõõdistuse ellips kujunes välja tugevalt välja venitatuna põhja-lõuna suunal (joonis 17).



Joonis 17. 17.02.16 mõõdistuskorra standardhälbeellipsid.

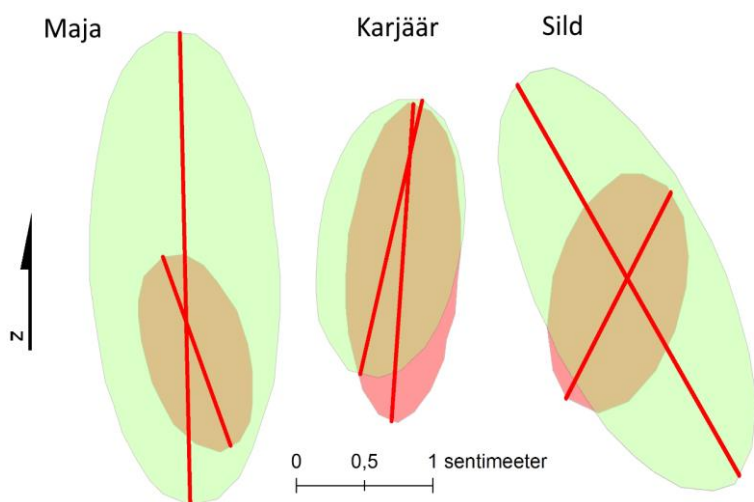
Tabel 5. 17.02.16 mõõdistuskorra statistilised näitajad

	pikem telg	lühem telg	suund	ekstsentrilisus	N (st. dev)	E (st. dev)
maja	8,81	5,46	1,66	0,79	3,11	1,91
karjäär	8,47	6,20	169,19	0,68	2,97	2,23
sild	10,22	5,40	179,84	0,85	3,62	1,91

Antud mõõdistuskorra puhul kujunesid pikemate mõõdistuste veaellipsid välja üsna sarnaselt, kuid vastupidiselt 12.02.16 mõõdistuskorrale kujunes antud juhul kõige suuremaks sillapunkti ekstsentrilisus (tabel 5). Sarnaselt eelmisele mõõdistusele kujunesid suuremad standardhälbed välja põhja-lõunasuunal.

3.3.3. 11. aprill 2016

11.04 toimunud mõõdistuste puhul kujunesid veaellipsid peamiselt põhja-lõuna suunaliselt, ka lühemate mõõdistuste puhul. Eripärasena näib punktis nr 2 (karjäär) toimunud mõõdistus, mille veaellips kujunes pea sama suureks nii lühema kui pikema mõõdistuse käigus. Kerget muutlikkust on märgata punktis nr 3 (sild) toimunud pikema ja lühema mõõdistuse kontekstis, kus veaellipsid kujunesid välja silmnähtavalt erisuunalisena (joonis 18).



Joonis 18. 11.04.16 mõõdistuskorra tulemused.

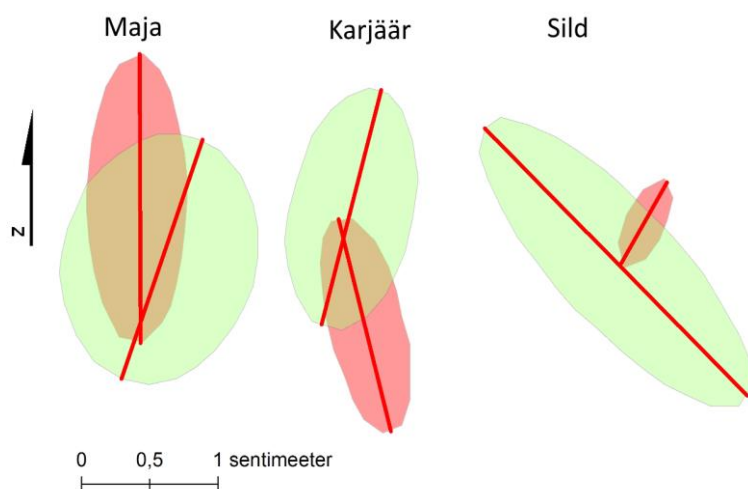
Tabel 6. 11.04.16 mõõdistuskorra pikemate mõõdistuste statistilised näitajad.

	pikem telg	lühem telg	suund	ekstsentrilisus	N (st. dev)	E (st. dev)
maja	17,24	6,95	177,03	0,92	6,10	2,48
karjäär	10,27	5,34	9,69	0,85	3,60	1,96
sild	13,00	6,21	141,26	0,88	3,84	3,35

Antud mõõdistuskorra pikemate mõõtmiste puhul kujunesid standardhälbeellipsid tervikuna välja tunduvalt suurema ekstsentrilisusega (lapikumad) kui eelnenud mõõdistuskordadel, muuhulgas kujunes ka silla ellips harilikult põhja-lõunasuuna asemel pigem loode-kagusuunalisena (tabel 6). Kuna sillapunkti ellips kujunes põhja-lõunasuuna suhtes välja pigem diagonaalsena, ei tule põhja- ja idasuuna standardhälbeid kujutavatest näitajatest välja selget erinevust, mistõttu tuleb antud juhul kindlasti jälgida ka ellipsi suunda ja telgede pikkusi, vältimaks ebaõigete järelduste tegemist.

3.3.4. 22. aprill 2016

22.04 toimunud mõõdistuse käigus kujunesid lühemate mõõdistuste ellipsid punktis 1 (maja) ja 2 (karjäär) peamiselt põhja-lõunasuunalisena, kuid pikemate mõõdistuste ellipsid sarnase mustri järgi mõlemal puhul õrnalt kirde-edelasuunalisena (tabel 7). Lühemate mõõdistuste ellipsid kujunesid mõlemal puhul väljavenitatumaks kui pikemate mõõdistuste puhul. Punkti 3 (sild) puhul kujunes lühema mõõdistuse ellips väga kontsentreerituks ja kirde-edelasuunalisena, kuid pikema mõõdistuse ellips tugevalt väljavenitatuks loode-kagusuunal (joonis 19).



Joonis 19. 22.04.16 mõõdistuskorra standardhälbeellipsid.

Tabel 7. 22.04.16 mõõdistuskorra pikemate mõõdistuste statistilised näitajad.

	pikem telg	lühem telg	suund	ekstsentrilisus	N (st. dev)	E (st. dev)
maja	9,10	7,12	16,22	0,62	3,20	2,61
karjäär	8,95	4,57	11,82	0,86	3,11	1,73
sild	13,77	4,34	136,49	0,95	3,58	3,42

Antud mõõdistuskorra puhul kujunesid põhja- ja idasuuna standardhälbed suhteliselt võrdsed nii maja kui sillapunkti puhul (tabel 7), kuid kuna sillapunkti ellips oli põhja-lõunasuuna suhtes diagonaalis (nurk 136,5 kraadi) ning ka ekstsentrilisusnäitaja tunduvalt erinev (majal vastavalt 0,62, sillal 0,95), on sisuliselt ellipsite karakteristikud täiesti erinevad.

4. Arutelu

Tulemused olid üldjoontes mõnevõrra üllatuslikud, mis tuleneb eelkõige asjaolust, et analüüsitud võimalikes probleemsetes punktides ootamatusi sisuliselt üldse ei esinenud. Küll aga oli mõneti üllatav, et pealtnäha ideaalsetes tingimustes läbi viidud mõõdistus osutus omakorda kõige probleemsemaks. Veallipsid osutasid kõigil mõõdistustel mõnevõrra erinevaks, millest tulenevalt võib arvata, et isegi kui mõõdistamised on tehtud pealtnäha sarnastes tingimustes, võib seadme töö erineda näiteks tänu võimalikule satelliitide erinevale konfiguratsioonile.

4.1. Vetevälja peegelduse eeldatav mõju

Hoolimata asjaolust, et töö ajendiks oli Tartu Ülikooli geoloogia osakonna RTK seadme vertikaalse komponendi ulatuslik kõikumine vetevälja läheduses, selgus töö käigus, et vähemalt uuritava Sokkia GSR 2700ISX puhul mõõdistustulemustes nii ulatuslikke kõikumisi veepiiri lähedal ei esine. Tulemusi muudab mõnevõrra ootamatuks ka asjaolu, et veekogu läheduses esines kõikumisi kõigist mõõdistuspaikadest kõige vähem, kuigi erinevad allikad kirjeldavad veepinda kui väga tõenäolist põhjust mitmeteelisuse vea tekkeks.

Tulevikus tuleks teostada sarnane uuring kasutades mitut ühe baasjaamaga RTK seadet ja mitut NRTK seadet, saamaks kinnitust, kas erinevus tuleneb kasutatavast tehnoloogiast või konkreetsetest seadmetest, millest tulenevalt saab praktilises töös valida vastavates tingimustes töötamiseks sobiv aparaat.

Kuna Tartu Ülikooli geoloogia osakonna RTK seade Trimble Hiper V, mis kasutab toimimiseks TopCon tugivõrku, on toimimispõhimõttelt mõnevõrra erinev uuritavast seadmest Sokkia GSR 2700ISX, on võimalik, et tulemusi mõjutab konkreetne seade või tugivõrk ise. Vastupidiselt Argo Jõelege väitele ei ole ka Eesti Maaülikooli dotsendi Aive Liibuski sõnul nemad enda kasutuses olevate RTK seadmete puhul aga eelpoolkirjeldatud reaalsel vertikaalsel kõikumisel täheldanud, millest tulenevalt võib olla põhjus ka konkreetse seadme, mida eraldi uurida tuleks.

Anomaalsete tulemuste esinemine veepiiri lähedases punktis 12.02.2016 esinenud mõõdistamisel lõi esialgu kahtlused lainetava veepinna mõju suhtes, kuid hilisemate mõõdistamiste tulemusel selgus, et ainult veepind selliseid anomaaliaid ei tekita. Seetõttu on

alust arvata, et antud juhul võis probleeme põhjustada mõõdistuspaiga lähedal lennanud helikopter, mis tõenäoliselt kasutas ka eriseadmeid, kuna toimumas olid kadunud inimese otsingud. Helikopteri rootori või kasutatavate eriseadmete mõju RTK-seadme täpsusele ja mõõdistustulemustele on antud uuringu kontekstis ebaselge, kuna puuduvad korduvad vaatlused sarnastes tingimustes, millest tulenevalt ei ole võimalik teha paikapidavaid järeldusi. Olemuselt kujutab helikopteri rootor endast kiirelt ja rütmiliselt liikuvat metallpinda, millest tulenevalt ei ole välistatud selle mõju teatud signaalidele, mida RTK seade oma toimimisel kasutab, ning kuna tegu on olenevalt olukorrast kohati ka kuni mitme sekundi vältel liikuva moonutatud infovooga, võib mõõdistamise käigus sattuda vigaseid andmeid tulemuste hulka lubamatult palju.

Kui peaks tekkima võimalus katsetada uuritavat seadet või ükskõik millist muud RTK seadet radari, helikopteri rootori ja elektromagnetlaineid kiirgavate seadmete mõjuväljas, tuleb praktilistel kaalutlustel seda ka teha, et korrelatsioonide tekkimisel oleks võimalik mõõdistuste planeerimisel neid ka arvesse võtta.

Vetevälja lähedases punktis ühel korral esinenud „lainetus“ võib olla ka pidev, ning ülejäänud mõõdistuste puhul samuti esinev, kuid kuna mõõdistusaeg (pikema mõõdistuse puhul 5 minutit) võib olla korrapärase lainetuse tendentside järgimiseks liiga lühike, on võimalik, et edaspidiste tööde käigus tuleks punkte jälgida kasutades staatilist režiimi ja pikemaid mõõdistusaegu (mõnekümnest minutist mõne tunnini), millest tulenevalt on vastavalt seadme tehnilistele andmetele (lisa 1) võimalik saavutada ka suurem täpsus (horisontaalselt 3 mm + 0,5 ppm; vertikaalselt 10 mm + 1 ppm).

4.2. Probleemid punktis number 3

Kuna antud uuring oli keskendunud üsna kindlate faktorite jälgimisele, siis seda üllatavamad olid tulemused punktis, kus eeldatavad segajad puudusid. Selles punktis olid põhilisteks sümptomiteks raskused RTK ühenduse saamisel, samuti väga suured kõikumised eelkõige vertikaalsel teljel.

Kahel mõõdistuskorral (11.04 ja 22.04) esines ka huvitav tendents, mille puhul kujunesid välja muutuste selged karakteristikud – mida väiksem oli punkti kõrgus, seda väiksem oli tema idakoordinaadi ja suurem põhjakoordinaadi väärtus, mis näitab tulemuste kõikumist rütmiliselt teatud tsentrite ümber. Kuna kõrguskoordinaat kõikus rütmiliselt kogu mõõdistuste

vältel, võib arvata, et liikuvjaama töö oli häiritud stabiilse mõjuteguri poolt. Seda huvitavam on asjaolu, et suuremad anomaaliad esinesid eelkõige kevadisel hooajal, kuid lumikattega perioodil nimetatud tendentsi tulemustes ei esinenud.

Põhjuseid võib olla mitmeid – kuna uuritav seade (Sokkia GSR 2700ISX) on meie kasutuses baasjaamaga ühendatud GSM andmesidega, on võimalik, et antud piirkonnas on mobiililevi takistatud, kuigi mobiiltelefonide toimimine mõõdistuspaigas häiritud ei olnud.

Vaatluse käigus selgus, et ühe lähedal asuva mobiilimasti otsenähtavust varjavad mõningal määral kõrgepingeliinide postid. Seni läbi viidud uuringute põhjal ei ole ka alust arvata, et ka oluliselt lähemal asuv elektriliin või elektripost tuntavat muutust RTK mõõdistuste tulemustes tekitada võiks (Lee, Ge 2005), kuid antud juhul ei saa välistada, et mitu järjestikust elektriposti, mis asuvad otsesihil mõõdistuspaiga ja mobiilimasti vahel, teatud häiringuid tekitavad. Kuna puudusid adekvaatsed võimalused mobiililevi hindamiseks, on antud asjaolu võimalikuks mõttekohaks järgnevatel sarnastel uuringutel, eriti arvestades asjaolu, et visuaalsel hinnangul peaks olema antud piirkond olema mobiilimastidele piisavalt lähedal, et tagada seadmele vajalikud töötingimused.

Teine võimalik mõju allikas, mille mõju tulevikus analüüsida tuleks, on mööduv liiklus, mida punktis nr 3 esines võrreldes teiste punktidega avaliku sõidutee läheduse tõttu üsna palju. Kuna on teada, et metallpinnad on ühed võimalikud signaali mitmeteelisuse allikad (Mekik, Can 2010), võib mõju olla seda suurem, kui pindu on mitu ja lisaks on nad liikumises. Antud teemat oleks kasulik uurida eelkõige arvestades asjaolu, et RTK GPS seadmed on sageli kasutuses ka ehitusobjektidel, mis võivad asuda tiheda liiklusega kohtades ja sellest tulenevalt võivad mõõdistamistulemused teatud komponentides olla ebatäpsed. Kasutades RTK seadet ehitus- või põllutöomasina juhtimisel, ei pruugi hälbed kuni paarkümmend sentimeetrit olla probleemiks, mistõttu ei ole nende uurimine ilmselt praktilisest kaalutlusest vajalik, kuid märkides geodeetilisi pidepunkte, on nõuded täpsusele tunduvalt suuremad.

Tähelepanuta ei saa jätta asjaolu, et statiiv, millele liikuvjaam punktis nr 3 oli kinnitatud, asus metallist teepiirde küljes, mis suundus teetammist mõningal määral madalamale, mistõttu võis liikuvjaama asetus olla nii mööduva liikluse kui asfaltpinna suhtes ebasoodne. Kuigi tihedama liiklusega ala (sild teetammiga) asus punktist ligikaudu 150 meetri kaugusel, ei saa välistada rütmiliselt liikuvate metallobjectide (autod) poolt tekitatud mõju mõteseadmele, mis teatud komponentides võis tekitada sarnast efekti helikopterile, mille mõju fikseeriti punktis nr 2 esimese mõõdistuse ajal. Kuna peamagistraalset tunduvalt lähemal (ligikaudu 15 meetrit) asus

kohaliku tähtsusega tee, kus mõõdistustööde käigus liikus ka mõningal määral autosid, ei saa välistada sellest tuleneva vibratsiooni võimalikke mõjusid seadmele või seda hoidnud statiivile.

Kahtluse, et ümbritseva maapinna suhtes madal asend häirib RTK lukustust, lükkab aga ümber asjaolu, et RTK lukustuse saamine ei lihtsustunud ka juhul, kui liikuvjaam tõsteti statiiviga tunduvalt kõrgemale, millest tulenevalt tuli ikkagi liikuvjaam viia mõnikümmend meetrit kaugemale mõõtepunktist, kus sageli ei suutnud seade RTK lukustuseni jõuda ka siis, ning katsetada tuli korduvalt.

Lühemate mõõdistuste puhul aga nii suuri vertikaalseid hälbeid ühelgi juhul ei esine, jäädes kokkuvõttes keskmisega võrreldes vahemikku ± 1 cm. Seega võib järeldada, et kuna hälbed antud punktis ei ole ainult ühesuunalised, on keskmistamise tulemusena nad võimalik lihtsalt elimineerida. Sellest tulenevalt on hariliku topograafiarežiimi kasutamisel mitme alammõõdistuse keskmistamise tulemusel võimalik saada võrdlemisi usaldusväärsed tulemused ka juhul, kui RTK seadme töö on raskendatud.

4.3. Betoonehitise mõju

Antud uuringu kontekstis betoonehitis endaga konkreetset silmaga nähtavat eripära kaasa ei toonud, kuigi punkt nr 1 asus võrdlemisi lähedal viiekordsele ehitisele ja sellest tulenevalt mõningaid anomaaliaid oodata võis. Kuigi horisont oli teatud määral piiratud, on võimalik, et suuremal määral mõju avaldamiseks on vaja betoonehitistele olla veel lähemal, mida omakorda mõningal määral kinnitab ka asjaolu, et esialgne punkt betoonehitise lähedal tuli nihutada eemale oma esialgsest asukohast RTK lukustuse mittesaavutamise tõttu. Betoonehitiste vahetus läheduses mõõdistamine on geodeetidele olnud probleemiks pikemat aega, millest tulenevalt on ka probleem saanud iseloomuliku nimetuse – linnakanjoni efekt (Ben-Moshe *et al* 2011). Kuna punkt asus hoolimata maja lähedusest siiski võrdlemisi avatud horisondiga paigas, on võimalik, et viies läbi uuringut näiteks kõrgemate, 9-kordsete majade läheduses või majade vahel, on tulemused tunduvalt erinevad, kuna liikuvjaamale jäävad nähtavaks satelliidid vaid üsna kitsas vahemikus, ning sellest tulenevalt on suurem ka PDOP väärtus.

Antud uuringu tulemuste põhjal võib järeldada, et kui ehitis (või mõni muu varjav tegur) on ühel küljel ja mitte vahetus läheduses, ei teki probleeme ka RTK mõõdistuse läbiviimisel.

Siiski võib suuremat mõju avaldada olukord, kui satelliitide paigutus antud ajahetkel on ebasoodne, ning seetõttu ka madal varjestaja ühel suunal võib kujuneda oluliseks teguriks.

Linnakanjonites kaardistades näiteks sõiduki abil kombineeritakse RTK seade tihti muul viisil asukohta määravate süsteemidega, näiteks inertsiaanduriga, mis aitab ühenduse katkedes säilitada vähemalt ligikaudse asukoha ning sellest tulenevalt kiirendada RTK lukustuse saavutamist taastunud nähtavuse tingimustes (Scherzinger 2002). Sellest tulenevalt on võimalik abivahendite abil tagada RTK töö ka näiliselt rasketes tingimustes, kuid arvestada tuleb võimalusega, et sentimeetri täpsus ei pruugi olla tagatud.

5. Järeldused

Vältimaks edaspidi tööde käigus tekkivaid ootamatusi, on praktilisest kogemusest lähtuvalt vajalik, et kasutatavas seadmes oleks alati kasutusel uusim püsivara, kuna tulenevalt võrkude ja tehnoloogia pidevast uuendamisest ei pruugi seade toimida vananenud püsivara korral korrektselt, nagu kogeti ka käesoleva uuringu algfaasis.

Üldiselt võib järeldada, et horisontaalses komponendis jääb Tartu Ülikooli geograafia osakonna kasutuses oleva RTK seadme Sokkia GSR 2700ISX täpsus enamasti tehnilistes andmetes (lisa 1) lubatu piiridesse, millest võib järeldada, et tegu on inseneride poolt suhteliselt hästi konstrueeritud ja katsetatud aparaadiga. Kui seadmel teatud mõjurite tõttu lubatud täpsuse saavutamine ei ole võimalik, tekib üldjuhul probleeme ka seadme initsialiseerimisega, nagu juhtus tihti punktis nr 3. Kui algtundmatute lahendamine pole võimalik ja sellest tulenevalt ka lubatud täpsuse saavutamine, tuleb edaspidisel kasutamisel praktilisest kogemusest tulenevalt initsialiseerida seade esialgsest punktist mõnevõrra eemal ning seejärel juba töötava seadmega liikuda mõõdistuspaika. Juba initsialiseeritud ja töötav seade kaotab tunduvalt väiksema tõenäosusega raskemates tingimustes ühenduse, kuid ühenduse loomine algusest peale võib olla võrdlemisi ajakulukas.

Kuna vertikaalne täpsus RTK meetodi puhul on harilikult ligikaudu 2 cm, ei ole seade kasutatav väga täpsete kõrgusandmete kogumisel, ning sel juhul on mõistlikum kasutada nivelliiri. Kui mõõdistused RTKga toimuvad muutlikes tingimustes, on töö tulemusena selgunud, et kõige enam ongi mõjutatud just vertikaalne komponent, mis isegi horisontaalse täpsuse säilimisel suhteliselt heal tasemel võib kõikuda isegi suurusjärgus 5 või rohkem sentimeetrit, mis ületab selgelt nii teoreetilist kui praktilist lubatud täpsust. Seejuures on väga oluline, et suurimad kõikumised ei tekkinud mitte hüpoteesile vastavalt veekogu läheduses, vaid mõjutajate hulka kuulub ka komponente, mille päritolu antud uuringu käigus ei selgunud.

Saamaks usaldusväärseid tulemusi, tuleb RTK seadmega mõõdistades kindlasti kasutada režiimi, mille puhul toimub ühe mõõdistuse käigus mitu alammõõdistust, vältimaks olukorda, kus mõõdistuse tulemustena ühe epohhi korral saadakse tulemusteks vaid võimalikud äärmused, mille resultaadiks on jämedad vead ja ebakvaliteetne töö. Raske on välja tuua kaljukindlat järeldust, kui suur peaks olema epohhide arv, kuid mida suurem on soovitatav täpsus, seda pikem võiks soovituslikult olla mõõdistus, eriti juhul, kui tingimused on rasked.

Kokkuvõte

Käesolevas töö eesmärk oli välja selgitada, millisel määral sõltuvad RTK seadme Sokkia GSR 2700ISX töö tulemustes esinevad horisontaalsed ja vertikaalsed hälbed mõõdistuspunktis võimalike signaale peegeldavate tegurite (betoonehitised, veekogud) olemasolust. Selle uurimiseks loodi mõõdistusvõrk punktidega kolmes kohas – korrusmaja poolt varjestatud horisondiga punktis, veekogu ääres ja paigas, kus silmnähtavad mõjutajad puudusid. Mõõdistused viidi läbi aastal 2016 talve lõpuosas ja kevadel, vastavalt 12.02, 17.02, 11.04 ja 22.04, ning ühe mõõdistuspäeva jooksul teostati mõõdistused kõigis kolmes punktis.

Kuna antud uuringu ajendiks oli Tartu Ülikooli geoloogia osakonna vanemteaduri Argo Jõehele tähelepanek, et nende kasutatav seade Trimble Hiper V, mis kasutab TopCon virtuaalse baasjaama teenust, näitab veepiiri lähedal vertikaalkoordinaadi kõikumist kuni 20 cm, otsustati uurida sarnase efekti võimalikku kajastumist ühe baasjaamaga seadme kontekstis.

Tulemuste analüüsil selgus, et veekoguga piirnev punkt, mille puhul eeldati kõige suuremaid horisontaalseid ja vertikaalseid hälbeid, osutus uuritavast kolmest punktist mõõdistustulemuste hälbimise suhtes kõige stabiilsemaks. Tavapärasest erinevaid tulemusi antud punktis esines vaid ühel korral, kui uuritav seade näitas anomaalseid tulemusi tõenäoliselt välise mõjuallika tõttu.

Seevastu esines kõige enam hälbeid punktis, mis algselt oli mõeldud kui segajateta punkt võrdluseks teistele punktidele. Antud punkti puhul esines ka kõige rohkem häireid, millest tulenevalt ei olnud võimalik sageli saada liikuvjaamal baasjaamaga ühendust. Põhjuseks võib olla nii mööduv liiklus, halb mobiilside levi või mõni teadmata päritoluga veeallikas.

Betoonehitise läheduses asetseva punkti mõõdistamisel tekkinud vead üldjuhul märkimisväärsed ei olnud. Siiski on võimalikud tekkivad vead mõneti loomulikud, kuna betoonehitis varjab otseselt ka satelliitide nähtavust teatud suunas.

Et saada aimu võimalikest vigade põhjustest esialgse uurimisküsimuse kontekstis, oleks tulevikus vaja viia läbi sarnane uurimus ka NRTK seadme(te)ga, et teha kindlaks, kas potentsiaalne veeallikas võib olla ka näiteks virtuaalse baasjaama teenus või konkreetne seade.

Üldiselt võib seadet Sokkia GSR 2700ISX hinnata kui usaldusväärset tööriista, kui seadme püsivara on korralikult uuendatud ja mõõdistused viiakse läbi mõistlikes tingimustes. Töö tulemusel selgus, et seade tagab ka võimalike signaale häirivate tegurite juuresolekul tehnilistes andmetes lubatud täpsuse, ning töö hüpoteesile vastanduvalt veepinna läheduses töötades märkimisväärseid hälbeid ei esine.

Sellest hoolimata tuleb olla ettevaatlik võimalike mõjutajate esinemise suhtes (lennumasinad, mööduv liiklus jne), ning mõõtmistöid läbi viies olla kindel, et nii baas- kui liikuvjaam on seadistatud vastavalt juhendile.

Summary

Deviations of surveying results in vertical and horizontal components using Sokkia GSR 2700ISX in selected landscape configurations.

The aim of this paper is to find out how different environmental conditions (nearby body of water, tall buildings) may affect the performance of the RTK system Sokkia GSR 2700ISX.

The main reason to conduct this study was given by Argo Jõelet, who observed interesting anomalies of live results of RTK system Trimble Hiper V, which indicated the results of vertical component differing 10 to 20 cm from the mean value at the same point. The named problem initiated question if the RTK system Sokkia GSR 2700ISX, which is used by the Department of Geography in University of Tartu, produces the same results as previously mentioned Trimble. To answer this question, three points with different environmental conditions for data collection were set up. On each point, 2 different surveys on one day were conducted – one in standard *Topography* mode where 7 measurements (each with 15 sub-measurements and 15 second pauses) were conducted, the other in *Continuous Topography* mode, which was making one measurement per second during 5 minutes.

The first point was near the 5-story concrete building and was mainly to be compared with the point number two. The second point was set up near the body of water and was to find out, how the it will affect the performance of RTK-system operating nearby. The third point was selected as the reference point for the other two, as there seemed to be no significant factor to affect the measurement results.

The measurements were carried out in 12th February, 17th February, 11th April and 22nd April, in order to experience different weather conditions (snow, ice, low temperatures, cloudyness). To compare the results, standard deviation indexes and standard deviational ellipses with graphs and scatter plots were used.

However, because of Sokkia GSR 2700ISX system in our configuration uses only one reference station, unlike Trimble Hiper V, which is configured to use NRTK service, the results are not comparable to each other.

To conclude the results, the second point, which was expected to return the most unstable results because of the water body nearby, turned out to be the most stable, while the point

number three, which had no significant affecting factors turned out to be the most problematic.

The main problems with point number three were related to RTK initialising, which took long time and occasionally needed the rover to be carried away from original surveying point to complete initialising. However, if RTK was initialised and moved back to the surveying point, no additional problems occurred. However, the results of continuous topography showed that the results, especially in vertical component, may show the difference of almost 6 cm, and the source of such error remains unknown.

The results near the concrete building, which has been set up to observe the possible errors by multipath or poor sight of satellites, showed no significant anomalies.

To sum up, Sokkia GSR 2700ISX proved to meet all its official specifications when working near water body. However, to get the best results, the surveyor needs to be sure that the firmware being used is always updated to the recent version and even if the conditions seem to be ideal, there are still some unknown sources of errors which cannot be predicted only by visual lookup. To minimize the effects of abnormal results of measurements, the mean of multiple measurements needs to be calculated instead of using single epoch measurements.

Kasutatud allikad

- Aponte, J., Meng, X., Hill, C., Moore, T., Burbridge, M., Dodson, A. 2009. Quality assessment of a network-based RTK GPS service in the UK. *Journal of Applied Geodesy*, 3(1), 25-34
- Ata, E. 2014. Signal Multipath In High Precision GPS Surveys. *Tehnicki vjesnik* 21, 4 (2014), 707-713
- Ben-Moshe, B., Elkin, E., Levi, H., Weissman, A. 2011. Improving Accuracy of GNSS Devices in Urban Canyons. *Canadian Conference of Computational Geometry*.
- Carnague, S. 2013. Low-cost GPS/GLONASS Precise Positioning Algorithm in Constrained Environment. *University of Toulouse*
- Forghani, M., Delavar, M. 2014. A Quality Study of the OpenStreetMap Dataset for Tehran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 3 (2014), 750-763
- Henning, W. 2011. User Guidelines for Single Base Real Time GNSS Positioning. *National Geodetic Survey*.
- Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. 2012. *Global Positioning System: Theory and Practice*. Viin: Springer Science & Business Media.
- Jacobson, M. 2010. Inferring Snow Water Equivalent for a Snow-Covered Ground Reflector Using GPS Multipath Signals. *Remote Sensing*, 2 (2010), 2426-2441
- Langley, R. 1998. RTK GPS. *GPS World*, September 1998, 70-76
- Lee, I., Ge, L. 2005. The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental conditions. *Earth Planets Space*, 58, 515-522
- Lemmon, T., Gerdan, G. 1999. The Influence of the Number of Satellites on the Accuracy of RTK GPS Positions. *Australian Surveyor*, 44(1), 64-70
- Maa-amet. 2015. GNSS püsijaamad. [<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Geodeetilised-andmed/Geodeetilised-vorgud/GNSS-pusijaamad-p288.html>] Kasutatud: 13.05.2016
- Mekik, C., Can, O. 2010. An investigation on multipath errors in real time kinematic GPS method. *Scientific Research and Essays* vol 5(16). 2186-2200
- Mereste, U. 1975. *Statistika üldteooria*. Tallinn: Valgus.
- Odolinski, R., Teunissen P., Odijk, D. 2014. Combined GPS + BDS for short to long baseline RTK positioning. *Measurement Science and Technology*, 26 (2015).
- Paar, R., Zrinjski, M., Marendic, A. 2011. Quality Check of Vertical Component Using GPS RTK Method and Laser System. *Geodetski vestnik* 55/4, 690-700

Pirti, A., Gümüs, K., Hosbas, R. Evaluating Repeatability of RTK GPS/GLONASS Near/Under Forest Environment. Croatian Journal of Forest Engineering, 31 (2010) 1, 23-33

Rüdja, A., Sander, J. 2013. Globaalne asukohamääramine. Tallinn: SA Innove

Scherzinger, B. 2002. Inertially Aided RTK Performance Evaluation.

Sokkia. 2010. GSR 2700ISX GNSS System.
[<http://www.sokkia.com.sg/products/GNSS/gsr2700-isx.html>] Kasutatud: 10.05.2016

Svežova, M. 2014. Erinevate Eesti VRS võrkude ja üksikute GNSS baasjaamade täpsushinnang. Eesti Maaülikool.

Lisad

Lisa 1

Tehnilised andmed

Sokkia GSR 2700ISX tehnilised näitajad on järgmised:

Kanalid:

72 universaalset kanalit:

14 L1, 14 L2, 6 L5 GPS

12 L1, 12 L2 GLONASS

2 SBAS.

Signaali (reacquisition): 0,5 sekundit L1; 1,0 sekundit L2

Töötemperatuur: -40 kuni +65 kraadi Celsiuse järgi

Õhuniiskus: 100%

Positsioneerimise täpsus tehnilise passi järgi (horisontaalne: H, vertikaalne: V):

Staatilises režiimis: H: 3,0 mm + 0,5 ppm; V: 10,0 mm + 1,0 ppm

Rapid Static režiimis: H: 5,0 mm + 0,5 ppm; V: 10,0 mm + 1,0 ppm

Kinemaatiline: H: 10,0 mm + 1,0 ppm; V: 20,0 mm + 1,0 ppm

RTK: H: 10,0 mm + 1,0 ppm; V: 20,0 mm + 1,0 ppm

DGPS: 25 cm RMS

Eraldiseisvana: 1,5 m CEP horisontaalselt

Latentsus: 0,02 sekundit

RTK ühendumine: 3-10 sekundit, olenevalt satelliitide paigutusest ja baasjoone pikkusest.

Lisa 2



Maastikuline konfiguratsioon punktis nr 1.



Maastikuline konfiguratsioon punktis nr 2.



Maastikuline konfiguratsioon punktis nr 3.



Liikuvjaam omavalmistatud statiivil punktis nr 3.



Baasjaama ülesseadmine.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Andris Pentjärv

(sünnikuupäev: 27.02.1993)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Sokkia GSR 2700ISX vertikaalsed ja horisontaalsed mõõtmishälbed valitud maastikutingimustes“,

mille juhendaja on PhD Raivo Aunap,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus 17.05.2016